



摘要

MSPM0 G 系列微控制器 (MCU) 产品系列提供多种具有超低功耗和集成式模拟数字外设的 32 位 MCU，适用于检测、测量和控制应用。本应用手册涵盖了使用 MSPM0 G 系列 MCU 进行硬件开发所需的信息，包括电源、复位电路、时钟、调试器连接、关键模拟外设、通信接口、GPIO 和电路板布局布线指南的详细硬件设计信息。

内容

| | |
|-----------------------------------|----|
| 1 MSPM0G 硬件设计检查清单 | 3 |
| 2 MSPM0G 器件中的电源 | 4 |
| 2.1 数字电源 | 4 |
| 2.2 模拟电源 | 5 |
| 2.3 内置电源和电压基准 | 6 |
| 2.4 推荐的电源去耦电路 | 6 |
| 3 复位和电源监控器 | 6 |
| 3.1 数字电源 | 6 |
| 3.2 电源监控器 | 7 |
| 4 时钟系统 | 8 |
| 4.1 内部振荡器 | 8 |
| 4.2 外部振荡器 | 9 |
| 4.3 外部时钟输出 (CLK_OUT) | 10 |
| 4.4 频率时钟计数器 (FCC) | 11 |
| 5 调试器 | 12 |
| 5.1 调试端口引脚和引脚分配 | 12 |
| 5.2 使用标准 JTAG 连接器的调试端口连接 | 12 |
| 6 主要模拟外设 | 15 |
| 6.1 ADC 设计注意事项 | 15 |
| 6.2 OPA 设计注意事项 | 15 |
| 6.3 DAC 设计注意事项 | 16 |
| 6.4 COMP 设计注意事项 | 17 |
| 6.5 GPAMP 设计注意事项 | 19 |
| 7 主要数字外设 | 20 |
| 7.1 计时器资源和设计注意事项 | 20 |
| 7.2 UART 和 LIN 资源以及设计注意事项 | 21 |
| 7.3 MCAN 设计注意事项 | 23 |
| 7.4 I2C 和 SPI 设计注意事项 | 24 |
| 8 GPIO | 26 |
| 8.1 GPIO 输出开关速度和负载电容 | 26 |
| 8.2 GPIO 灌电流和拉电流 | 26 |
| 8.3 高速 GPIO (HSIO) | 27 |
| 8.4 高驱动 GPIO (HDIO) | 27 |
| 8.5 开漏 GPIO 可在没有电平转换器的情况下支持 5V 通信 | 27 |
| 8.6 在没有电平转换器的情况下与 1.8V 器件通信 | 27 |
| 8.7 未使用引脚连接 | 28 |
| 9 布局指南 | 29 |
| 9.1 电源布局 | 29 |
| 9.2 接地布局注意事项 | 29 |
| 9.3 布线、过孔和其他 PCB 元件 | 30 |

| | |
|--------------------------|-----------|
| 9.4 如何选择电路板层和建议堆叠..... | 31 |
| 10 引导加载程序..... | 32 |
| 10.1 引导加载程序简介..... | 32 |
| 10.2 引导加载程序硬件设计注意事项..... | 32 |
| 11 总结..... | 33 |
| 12 参考资料..... | 33 |
| 13 修订历史记录..... | 34 |

插图清单

| | |
|--|----|
| 图 1-1. MSPM0G 典型应用原理图..... | 4 |
| 图 2-1. V _{CORE} 稳压器电路..... | 4 |
| 图 2-2. VREF 电路..... | 6 |
| 图 2-3. 电源去耦电路..... | 6 |
| 图 3-1. NRST 推荐的电路..... | 7 |
| 图 3-2. POR 和 BOR 与电源电压 (VDD) 间的关系..... | 7 |
| 图 4-1. MSPM0G 系列 LFOSC..... | 8 |
| 图 4-2. MSPM0G 系列 SYSOSC..... | 8 |
| 图 4-3. MSPM0G SYSPLL 电路..... | 9 |
| 图 4-4. MSPM0G LFXT 电路..... | 9 |
| 图 4-5. MSPM0G HFXT 电路..... | 10 |
| 图 4-6. MSPM0G 外部时钟输出..... | 10 |
| 图 4-7. MSPM0G 频率时钟计数器方框图..... | 11 |
| 图 5-1. 主机到目标器件的连接..... | 12 |
| 图 5-2. MSPM0G SWD 内部上拉/下拉电阻..... | 12 |
| 图 5-3. JTAG 和 MSPM0G 连接..... | 13 |
| 图 5-4. XDS110 探针简要方框图..... | 13 |
| 图 5-5. XDS110-ET 电路..... | 14 |
| 图 5-6. 使用标准 10 引脚电缆..... | 14 |
| 图 6-1. ADC 输入网络..... | 15 |
| 图 6-2. 双 OPA 差分放大器的方框图和公式..... | 16 |
| 图 6-3. 双 OPA 同相到同相级联放大器的方框图和公式..... | 16 |
| 图 6-4. 8 位 DAC 方框图..... | 16 |
| 图 6-5. 8 位 DAC 和 OPA 输出方框图..... | 17 |
| 图 6-6. 12 位 DAC 输出方框图..... | 17 |
| 图 6-7. 比较器图..... | 17 |
| 图 6-8. 窗口比较器模式..... | 18 |
| 图 6-9. 比较器短路开关..... | 18 |
| 图 6-10. 放大模式下的 GPAMP 电路..... | 19 |
| 图 6-11. 缓冲模式下的 GPAMP 电路..... | 19 |
| 图 7-1. 典型的 LIN TLIN1021A 收发器..... | 22 |
| 图 7-2. 带有 MSPM0G 的典型 LIN 应用 (指挥官)..... | 22 |
| 图 7-3. 带有 MSPM0G 的典型 LIN 应用 (响应者)..... | 23 |
| 图 7-4. MCAN 典型总线布线..... | 23 |
| 图 7-5. 使用 MSPM0G 的典型 CAN 总线应用..... | 24 |
| 图 7-6. 针对不同 SPI 配置的外部连接..... | 24 |
| 图 7-7. 典型 I2C 总线连接..... | 25 |
| 图 8-1. 建议的 ODIO 电路..... | 27 |
| 图 8-2. 与 1.8V 器件通信的建议电路..... | 27 |
| 图 9-1. 建议的电源布局..... | 29 |
| 图 9-2. 数字地和模拟地以及公共区域..... | 30 |
| 图 9-3. 直角弯曲布线的错误和正确方式..... | 30 |
| 图 9-4. 模拟和高速信号的错误和正确交叉布线..... | 31 |
| 图 9-5. 四层 PCB 堆叠示例..... | 31 |
| 图 10-1. 配置的 GPIO 引脚上的 BSL 进入序列..... | 32 |

表格清单

| | |
|--|---|
| 表 1-1. MSPM0G 硬件设计检查清单..... | 3 |
| 表 4-1. 在 FCL 模式下基于不同 ROSC 容差、RSOC TCR 和环境温度 (T _A) 的 SYSOSC 精度..... | 8 |

| | |
|---|----|
| 表 5-1. MSPM0G 调试端口..... | 12 |
| 表 7-1. TIMA 实例配置..... | 20 |
| 表 7-2. TIMG 实例配置..... | 20 |
| 表 7-3. UART 特性..... | 21 |
| 表 7-4. MSPM0G UART 规格..... | 21 |
| 表 7-5. MSPM0G I2C 特性..... | 25 |
| 表 8-1. MSPM0G GPIO 开关特性..... | 26 |
| 表 8-2. MSPM0G GPIO 最大绝对额定值 | 26 |
| 表 8-3. 未使用引脚的连接..... | 28 |

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 MSPM0G 硬件设计检查清单

表 1-1 描述了 MSPM0G 硬件设计过程中需要检查的主要内容。以下各节提供了更多详细信息。

表 1-1. MSPM0G 硬件设计检查清单

| 引脚 | 说明 | 要求 |
|------------------------|-------------------|--|
| VDD | 电源正极引脚 | 在 VDD 和 VSS 之间放置 10 μ F 和 100nF 电容器，并使这些器件靠近 VDD 和 VSS 引脚。 |
| VSS | 电源负极引脚 | |
| VCORE | 内核电压 (典型值: 1.35V) | 将 470nF 电容器连接至 VSS。请勿向 VCORE 引脚提供任何电压或施加任何外部负载。 |
| NRST | 复位引脚 | 连接一个外部 47k Ω 上拉电阻和一个 10nF 至 100nF 下拉电容。在 RESET 引脚上添加一个具有适当电容的电容器可以抑制 ESD 引起的瞬态干扰，从而降低意外复位的风险。 |
| ROSC | 外部基准电阻引脚 | <ul style="list-style-type: none"> 将一个外部 100kΩ /\pm0.1%、25ppm 电阻连接到 VSS，以在需要时实现高 SYSOSC 精度。 可以保持开路。应用对 SYSOSC 没有高精度要求。 |
| VREF+ | 电压基准电源 - 外部基准输入 | <ul style="list-style-type: none"> 当使用 VREF+ 和 VREF- 为 ADC 等模拟外设提供外部电压基准时，其输出直接连接到 VREF+ 引脚，且必须在 VREF+ 与 VREF-/GND 之间放置一个去耦电容，该电容基于外部基准源。 如果应用不需要外部电压基准，则可以保持开路。 |
| VREF- | 电压基准接地电源 - 外部基准输入 | |
| SWCLK | 来自调试探针的串行线时钟 | 内部下拉到 VSS，不需要任何外部器件。 |
| SWDIO | 双向 (共享) 串行线数据 | 内部上拉到 VDD，不需要任何外部器件。 |
| PA0、PA1 | 开漏 I/O | 输出高电平所需的上拉电阻 |
| PA18 | 默认 BSL 调用引脚 | 保持下拉状态，以避免在复位后进入 BSL 模式。(BSL 调用引脚可以重新映射。) |
| PAx (不包括 PA0、PA1) | 通用 I/O | 将相应的引脚功能设置为 GPIO。(PINCMx.PF = 0x1) |
| 未使用的 PAx (不包括 PA0、PA1) | 通用 I/O | 使用内部上拉或下拉电阻器将未使用的引脚配置为输出低电平或输入。 |
| 散热焊盘 | QFN 封装上的散热焊盘 | 焊盘的热量通过过孔传递到 PCB 的连续铜平面 (例如 GND 平面)。铜面积越大，散热效果越好。 |

备注

对于具有与通用 I/O 共享的功能的任何未使用引脚，请按照节 8.7 中的指南进行操作。

TI 建议将一个 10 μ F 和一个 0.1nF 低 ESR 陶瓷去耦电容器组合连接到 VDD 和 VSS 引脚。可以使用值更大的电容，但可能会影响电源轨斜升时间。去耦电容必须尽可能靠近要去耦的引脚的位置 (几毫米范围内)。

NRST 复位引脚需要连接一个外部 47k Ω 上拉电阻器和一个 10nF 下拉电容器。

SYSOSC 频率校正环路 (FCL) 电路利用一个组装在 ROSC 引脚和 VSS 之间的外部 100k Ω 电阻器，通过为 SYSOSC 提供精密基准电流来稳定 SYSOSC 频率。如果未启用 SYSOSC FCL，则不需要该电阻。

对于支持外部晶振的器件，在使用外部晶振时，需要为晶体振荡器引脚使用外部旁路电容。

VCORE 引脚上需要连接一个 $0.47\ \mu\text{F}$ 的电容器，并且该电容器需要靠近器件放置，与器件接地端之间的距离最小。

对于 5V 容限开漏 (ODIO)，如果使用 ODIO，则需要一个上拉电阻来输出 I2C 和 UART 功能所需的高电平。

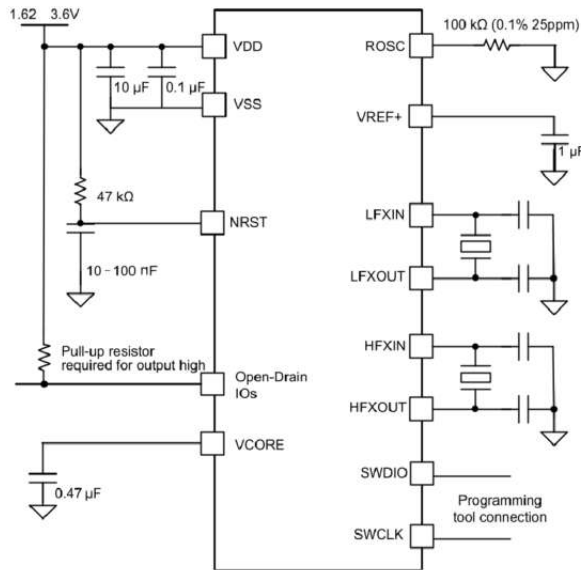


图 1-1. MSPM0G 典型应用原理图

2 MSPM0G 器件中的电源

该器件由 VDD 和 VSS 连接进行供电。该器件支持在 1.62V 至 3.6V 的电源电压下运行，并能够以 1.62V 电源电压启动。电源管理单元 (PMU) 为器件生成稳压内核电源，并对外部电源进行监控。此外，此项还包含供 PMU 和其他模拟外设使用的带隙电压基准。VDD 直接用于提供 IO 电源 (VDDIO) 和模拟电源 (VDDA)。VDDIO 和 VDDA 在内部连接到 VDD，因此无需额外的电源引脚 (有关详细信息，请参阅器件数据表)。

2.1 数字电源

VCORE 稳压器

内部低压降线性稳压器会生成一个 1.35V 电源轨来为器件内核供电。通常，内核稳压器输出 (VCORE) 为内核逻辑 (包括 CPU、数字外设和器件存储器) 供电。内核稳压器需要一个连接在器件 VCORE 引脚和 VSS (接地) 之间的外部电容器 (CVCORE)；请参阅图 2-1。有关 CVCORE 的正确值和容差，请参阅器件特定的数据表。CVCORE 需要靠近 VCORE 引脚放置。

在除 SHUTDOWN 外的所有电源模式中，内核稳压器均处于运行状态。在所有其他功耗模式 (RUN、SLEEP、STOP 和 STANDBY) 中，稳压器的驱动强度会自动配置为支持每种模式的最大负载电流。这降低了使用低功耗模式时稳压器的静态电流，从而提高了低功耗性能。

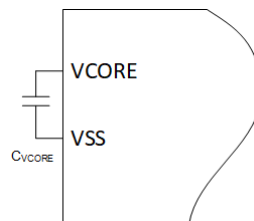


图 2-1. VCORE 稳压器电路

2.2 模拟电源

模拟多路复用器 VBOOST

PMU 中的 VBOOST 电路会生成内部 VBOOST 电源，供器件上 COMP、GPAMP 和 OPA (如有) 中的模拟多路复用器使用。VBOOST 电路可在外部电源电压 (VDD) 范围内实现一致的模拟多路复用器性能。

启用和禁用 VBOOST

SYSCTL 会根据以下参数自动管理 VBOOST 电路的使能请求：

1. COMP、OPA 和 GPAMP 外设 PWREN 设置。
2. 任何 COMP 已启用的模式设置 (FAST 与 ULP 模式)。
3. SYSCTL 中 GENCLKCFG 寄存器的 ANACPUMPCFG 控制位。

在 SYSRST 之后，VBOOST 默认被禁用。在使用 COMP、OPA 或 GPAMP 之前，使用应用软件启用 VBOOST 电路。当 COMP、OPA 或 GPAMP 由应用软件启用时，SYSCTL 还会使 VBOOST 电路支持模拟外设。

备注

VBOOST 电路具有从禁用状态转换到启用状态的启动时间要求 (典型值为 12 μ s)。如果 COMP、OPA 或 GPAMP 的启动时间小于 VBOOST 启动时间，则会延长外设启动时间以计入 VBOOST 启动时间。

带隙基准

PMU 提供一个温度和电源电压稳定的带隙电压基准，此基准供器件用于内部功能，其中包括：

- 驱动欠压复位电路阈值。
- 设置内核稳压器的输出电压。
- 驱动片上模拟外设的片上 VREF 电平。

带隙基准在 RUN、SLEEP、STOP 模式下启用。此项在 STANDBY 模式下以采样模式运行以降低功耗，而在 SHUTDOWN 模式下会被禁用。SYSCTL 会自动管理带隙状态，无需用户配置。

2.3 内置电源和电压基准

MSPM0G 系列的 VREF 模块是共享电压基准模块，可供各种板载模拟外设利用。

VREF 模块的功能包括：

- 用户可选择 1.4V 和 2.5V 内部基准电压。
- 支持在 VREF+ 和 VREF- 器件引脚上接收外部基准电压。
- 采样保持模式支持在 STANDBY 工作模式下运行 VREF。
- 内部基准支持 ADC、COMP 和 OPA。

为 MCU 提供外部基准时，TI 建议在基准引脚上连接一个去耦电容器，具体值取决于电压源（请参阅图 2-2）。

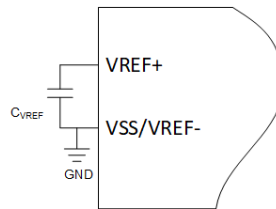


图 2-2. VREF 电路

2.4 推荐的电源去耦电路

TI 建议将 10 μ F 和 100nF 的低 ESR 陶瓷去耦电容组合连接至 DVCC 引脚（请参阅图 2-3）。可以使用值更大的电容，但可能会影响电源轨斜升时间。去耦电容必须尽可能靠近要去耦的引脚的位置（几毫米范围内）。

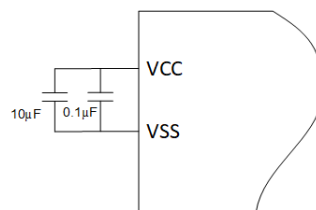


图 2-3. 电源去耦电路

3 复位和电源监控器

3.1 数字电源

该器件有五个复位级别：

- 上电复位 (POR)
- 欠压复位 (BOR)
- 引导复位 (BOOTRST)
- 系统复位 (SYSRST)
- CPU 复位 (CPURST)

MSPM0G 系列 80MHz 微控制器技术参考手册 (TRM) 中详细介绍了各个复位级别之间的关系。

冷启动后，NRST 引脚配置为 NRST 模式。NRST 引脚必须为高电平才能成功引导器件。NRST 上没有内部上拉电阻。外部电路（上拉电阻连接至 DVCC，或复位控制电路）必须主动将 NRST 拉至高电平才能使器件启动。手动复位需要一个电容器和一个打开按钮（请参阅图 3-1）。器件启动后，NRST 上持续时间短于 1 秒的低电平脉冲会触发 BOOTRST。如果 NRST 上的低电平脉冲持续时间超过 1 秒，则会触发 POR。

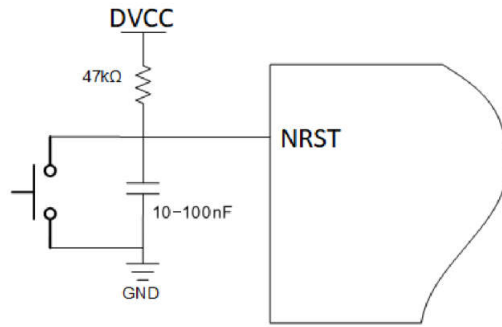


图 3-1. NRST 推荐的电路

3.2 电源监控器

上电复位 (POR) 监测器

上电复位 (POR) 监测器会监视外部电源 (VDD) 并为 SYSCTL 将 POR 违例设置为有效或使其无效。在冷上电期间，器件保持为 POR 状态，直到 VDD 超过 POR+。一旦 VDD 超过 POR+，便会释放 POR 状态，并会启动带隙基准和 BOR 监测器电路。如果 VDD 降至 POR- 电平以下，则会发生 POR- 违例，并且器件再次保持为 POR 复位状态。

POR 监测器不会指示 VDD 已达到足以支持器件正确运行的电平，此项作为引导过程的第一步用于确定电源电压是否足以带隙基准和 BOR 电路上电，然后再使用带隙基准和 BOR 电路来确定电源是否达到足以使器件正确运行的电平。POR 监测器在包括 SHUTDOWN 模式在内的所有功耗模式下均处于活动状态，无法禁用。(POR 触发波形如图 3-2 所示。)

欠压复位 (BOR) 监测器

欠压复位 (BOR) 监测器会监控外部电源 (VDD) 并使 SYSCTL 的 BOR 违例有效或无效。BOR 电路的主要作用是确保外部电源保持足够高的电压，以使包括内核稳压器在内的内部电路能够正常运行。BOR 阈值基准来自内部带隙电路。该阈值可编程，并且始终高于 POR 阈值。在冷启动期间，在 VDD 超过 POR+ 阈值后，带隙基准和 BOR 电路被启动。然后，器件保持在 BOR 状态，直到 VDD 超过 BOR0+ 阈值。一旦 VDD 通过 BOR0+，BOR 监测器便会释放器件以继续执行引导过程，并启动 PMU。(BOR 触发波形如图 3-2 所示。)

电源变化期间的 POR 和 BOR 行为

当电源电压 (VDD) 降至 POR- 以下时，将清除整个器件状态。未降至 BOR0- 阈值以下的 VDD 微小变化不会导致 BOR- 违例，此时器件会继续运行。BOR 电路配置为生成中断而不是立即触发 BOR 复位。

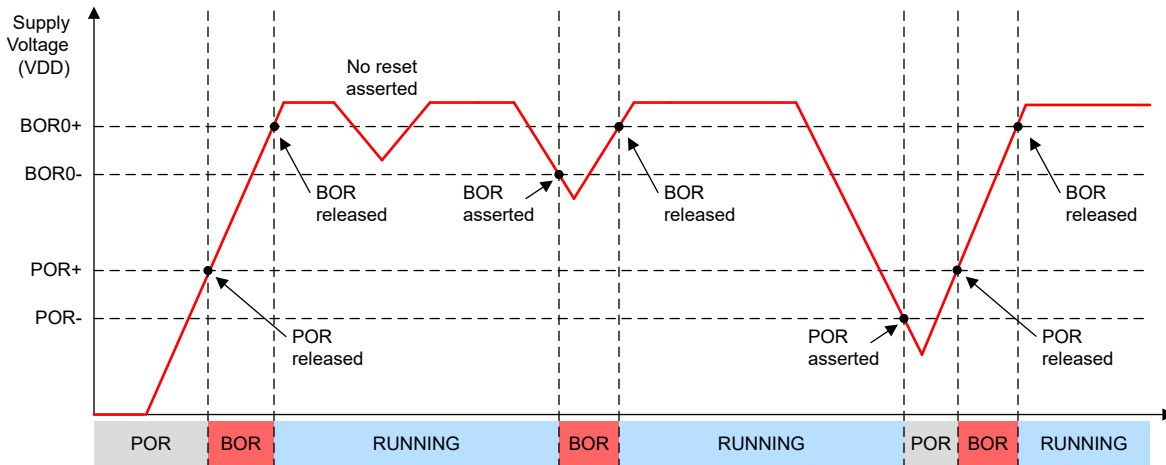


图 3-2. POR 和 BOR 与电源电压 (VDD) 间的关系

4 时钟系统

MSPM0G 系列的时钟系统包含内部振荡器、时钟监视器以及时钟选择和控制逻辑。

本节介绍了不同 MSPM0G 系列器件上的时钟资源以及与外部信号或器件的交互。

4.1 内部振荡器

内部低频振荡器 (LFOSC)

LFOSC 是一种片上低功耗振荡器，出厂时调整为 32.768kHz 的频率。此项提供了一个低频时钟，可用于帮助系统实现低功耗。当在较低的温度范围内使用时，LFOSC 可提供更高的精度。相关详细信息，请参阅器件特定数据表。

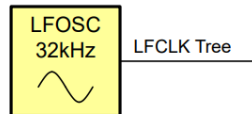


图 4-1. MSPM0G 系列 LFOSC

内部系统振荡器 (SYSOSC)

SYSOSC 是一款精确且可配置的片上振荡器，其出厂修整频率为 32MHz (基频) 和 4MHz (低频)，支持用户修整的 24MHz 或 16MHz 工作频率。此项提供了一个高频时钟，让 CPU 能够高速运行以执行代码和处理性能。

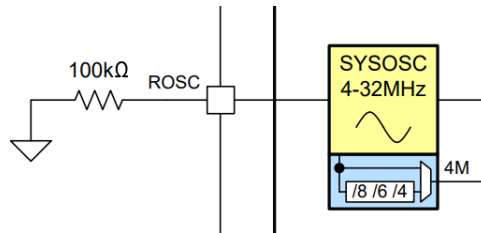


图 4-2. MSPM0G 系列 SYSOSC

SYSOSC 频率校正环路

该振荡器的额外硬件设置是一个外部电阻，该电阻安装在 ROSC 引脚和 VSS 之间，用于将 SYSOSC 从整个温度范围内 $\pm 2.5\%$ 的基础精度提高到更高。

要确定总体 SYSOSC 应用精度，应通过整合以下误差源来确定总体误差：

1. ROSC 基准电阻误差 (由于容差和温漂)。
2. FCL 模式下的 SYSOSC 电路误差 (-40°C 至 85°C 时为 $\pm 0.75\%$ ，-40°C 至 125°C 时为 $\pm 0.90\%$)。

表 4-1 展示了如何在两个温度范围内计算两个不同 ROSC 电阻器规格的 SYSOSC 应用精度。有关更多详细信息，请参阅特定于器件的 TRM。

表 4-1. 在 FCL 模式下基于不同 ROSC 容差、RSOC TCR 和环境温度 (T_A) 的 SYSOSC 精度

| 环境温度 (T_A) | -40 ≤ T_A ≤ 125°C | | -40 ≤ T_A ≤ 85°C | |
|-----------------------------|---------------------|----------------|--------------------|----------------|
| | ±0.1% 25ppm/°C | ±0.5% 25ppm/°C | ±0.1% 25ppm/°C | ±0.5% 25ppm/°C |
| ROSC 电阻参数 | | | | |
| 标称 ROSC 电阻 ($ROSC_{nom}$) | 100k Ω | | | |
| 最大 ROSC 电阻 (25°C 时) | 100.1k Ω | 100.5k Ω | 100.1k Ω | 100.5k Ω |
| 最小 ROSC 电阻 (25°C 时) | 99.9k Ω | 99.5k Ω | 99.9k Ω | 99.5k Ω |
| ROSC 电阻 TCR | 25ppm/°C | | | |

表 4-1. 在 FCL 模式下基于不同 ROSC 容差、RSOC TCR 和环境温度 (T_A) 的 SYSOSC 精度 (续)

| 环境温度 (T_A) | $-40 \leq T_A \leq 125^\circ\text{C}$ | | $-40 \leq T_A \leq 85^\circ\text{C}$ | |
|--|---------------------------------------|--|--|--|
| | ROSC 电阻参数 | $\pm 0.1\% \text{ 25ppm}/^\circ\text{C}$ | $\pm 0.5\% \text{ 25ppm}/^\circ\text{C}$ | $\pm 0.1\% \text{ 25ppm}/^\circ\text{C}$ |
| ROSC 温漂 | -0.16% 至 0.25% | | -0.16% 至 0.15% | |
| 最大 ROSC 电阻 (在高温下) (ROSC_{max}) | 100.35k Ω | 100.75k Ω | 100.25k Ω | 100.65k Ω |
| 最小 ROSC 电阻 (在低温下) (ROSC_{min}) | 99.74k Ω | 99.34k Ω | 99.74k Ω | 99.34k Ω |
| ROSC 电阻误差 (高温) ($\text{ROSC}_{\text{err+}}$) | +0.35% | +0.75% | +0.25% | +0.65% |
| ROSC 电阻误差 (低温) ($\text{ROSC}_{\text{err-}}$) | -0.26% | -0.66% | -0.26% | -0.66% |
| SYSOSC 电路误差 ($\text{SYSOSC}_{\text{err}}$) | $\pm 0.9\%$ | | $\pm 0.75\%$ | |
| 总精度 ($\text{TOT}_{\text{err-}}, \text{TOT}_{\text{err+}}$) | -1.2% 至 +1.3% | -1.6% 至 +1.7% | -1.0% 至 +1.0% | -1.4% 至 +1.4% |

系统锁相环 (SYSPLL)

SYSPLL 是具有可编程频率的系统锁相环，用于实现 MSPM0G 系列的最高速度 (80MHz)。

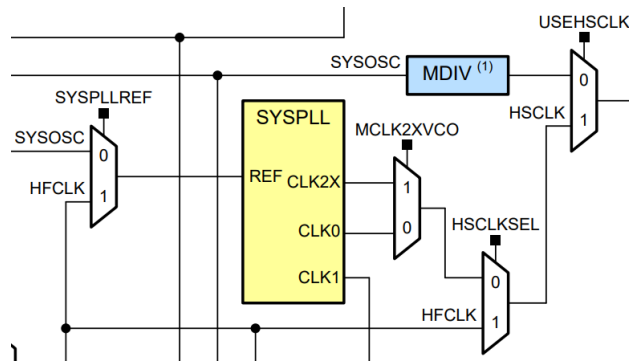


图 4-3. MSPM0G SYSPLL 电路

4.2 外部振荡器

对于跨器件和在温度范围内要求更高时钟精度的应用，可以使用外部振荡器。LFXT 可以代替 LFOSC，而 HFXT 可以代替 SYSOSC。

低频晶体振荡器 (LFXT)

LFXT 是一种超低功耗晶体振荡器，支持驱动标准的 32.768kHz 手表晶体。要使用 LFXT，请在 LFXIN 引脚和 LFXOUT 引脚之间组装一个手表晶体。将 LFXIN 和 LFXOUT 引脚上的负载电容器连接到电路地 (VSS)。根据所用晶体的规格确定晶体负载电容器的大小。通过一个可编程驱动强度机制来支持多种晶体类型。有关布局建议，请参阅节 9。

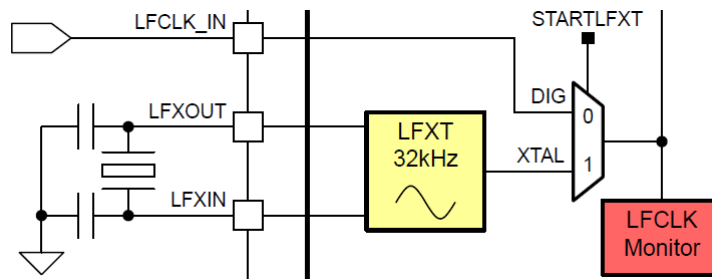


图 4-4. MSPM0G LFXT 电路

LFCLK_IN (数字时钟)

可以绕过 LFXT 电路，并且可以将 32.76kHz 典型频率的数字时钟引入器件，以用作 LFCLK 源。LFCLK_IN 和 LFXT 是互斥的，不得同时启用。

LFCLK_IN 与数字方波 CMOS 时钟输入兼容，且典型占空比为 50%。用户可以通过启用 LFCLK 监视器来检查 LFCLK_IN 上的有效时钟信号。默认情况下，如果未启动 LFXT，LFCLK 监视器会检查 LFCLK_IN。

高频晶体振荡器 (HFXT)

高频晶体振荡器 (HFXT) 可与 4MHz 至 48MHz 范围内的标准晶体和谐振器搭配使用，为系统生成稳定的高速基准时钟。

要使用 HFXT，请在 HFXIN 和 HFXOUT 引脚之间组装一个晶体和谐振器。将这两个引脚上的负载电容器连接到电路接地 (VSS)。根据所用晶体的规格确定晶体负载电容器的大小。可编程 HFXT 启动时间具有 64μs 的分辨率。有关布局建议，请参阅节 9。

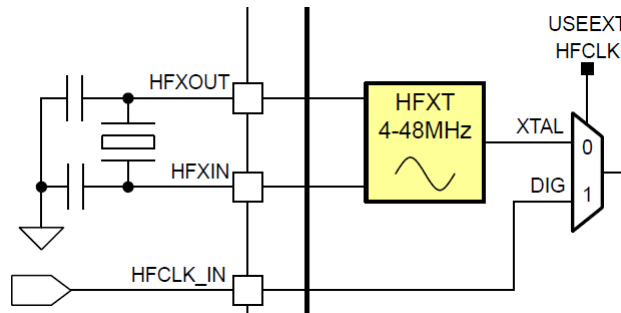


图 4-5. MSPM0G HFXT 电路

HFCLK_IN (数字时钟)

用户可以绕过 HFXT 电路并将 4MHz 至 48MHz 的典型频率数字时钟引入器件中，以用作 HFCLK 源，而不是使用 HFXT。HFCLK_IN 和 HFXT 是互斥的，不得同时启用。

HFCLK_IN 与数字方波 CMOS 时钟输入兼容，且典型占空比为 50%。

4.3 外部时钟输出 (CLK_OUT)

时钟输出单元可以将数字时钟信号从器件发送到外部电路或频率时钟计数器。此特性可用于为外部电路计时，例如没有时钟源的外部 ADC。时钟输出单元有一组灵活的源可供选择，并包含一个可编程分频器。

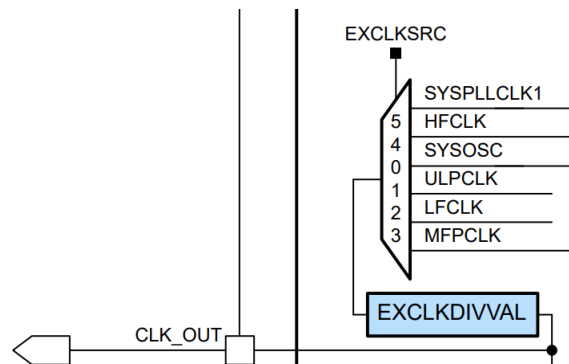


图 4-6. MSPM0G 外部时钟输出

CLK_OUT 的可用时钟源：

- SYSPLLCLK1
- HFCLK
- SYSOSC
- ULPCLK

- MFCLK
- LFCLK

所选时钟源可以进行 1、2、4、8、16、32、64 或 128 分频，然后输出到该引脚或频率时钟计数器。

4.4 频率时钟计数器 (FCC)

频率时钟计数器 (FCC) 可对器件上的各种振荡器和时钟进行灵活的系统内测试和校准。FCC 计算在已知固定触发周期 (源自次级基准源) 内所选源时钟上显示的时钟周期数，以估算源时钟的频率。

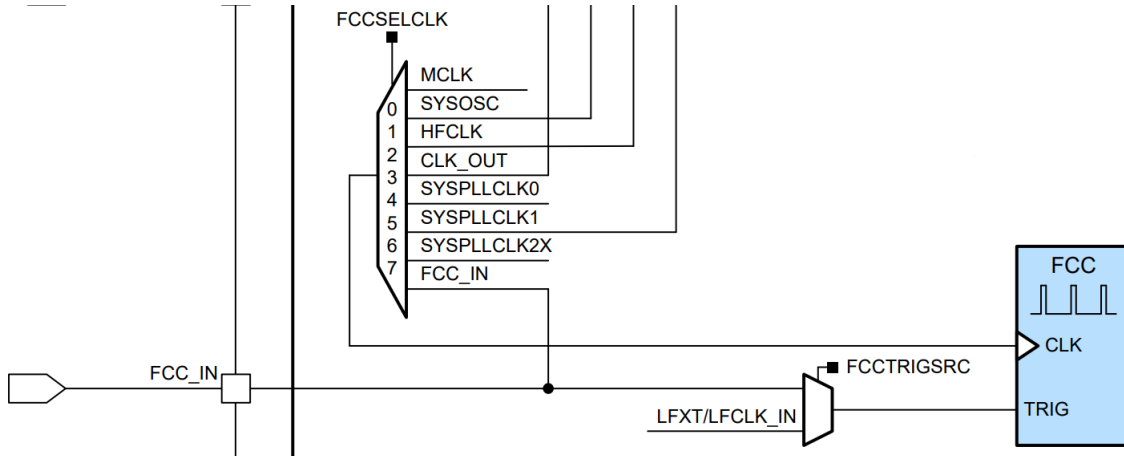


图 4-7. MSPM0G 频率时钟计数器方框图

应用软件可以使用 FCC 来测量以下振荡器和时钟的频率：

- MCLK
- SYSOSC
- HFCLK
- CLK_OUT
- SYSPLLCLK0
- SYSPLLCLK1
- SYSPLLCLK2X
- 外部 FCC 输入 (FCC_IN)

备注

虽然外部 FCC 输入 (FCC_IN 函数) 可用作 FCC 时钟源或 FCC 触发输入，但在同一 FCC 捕获期间，此项不能同时用于这两个函数。必须将此配置为 FCC 时钟源或 FCC 触发器。

5 调试器

调试子系统 (DEBUGSS) 将串行线调试(SWD) 两线制物理接口连接到器件内的多个调试功能。MSPM0G 器件支持调试处理器执行情况、器件状态和电源状态 (使用 EnergyTrace 技术) 。

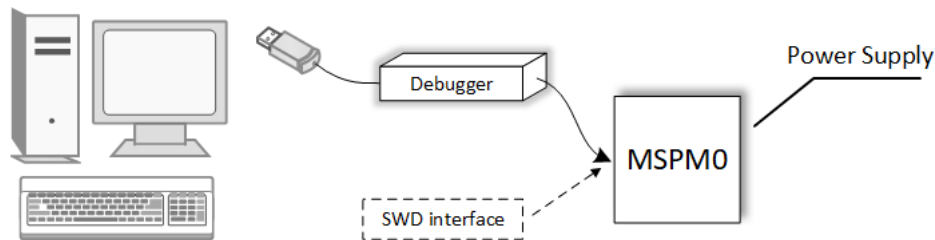


图 5-1. 主机到目标器件的连接

5.1 调试端口引脚和引脚分配

调试端口包含 SWCLK 和 SWDIO (请参阅表 5-1) ，它们具有内部下拉和上拉电阻器 (请参阅图 5-2) 。MSPM0G MCU 系列提供多种具有不同数量可用引脚的封装。有关器件特定详细信息，请参阅数据表。

表 5-1. MSPM0G 调试端口

| 器件信号 | 方向 | SWD 功能 |
|-------|-------|-----------------|
| SWCLK | 输入 | 来自调试探针的串行线时钟 |
| SWDIO | 输入/输出 | 双向 (共享) 串行线数据 |

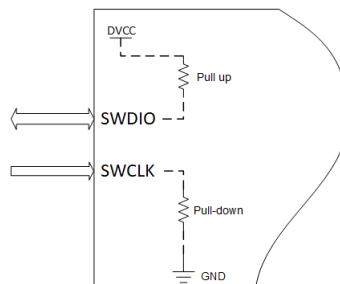


图 5-2. MSPM0G SWD 内部上拉/下拉电阻

5.2 使用标准 JTAG 连接器的调试端口连接

图 5-3 展示了 MSPM0G 系列 MCU SWD 调试端口与标准 JTAG 连接器之间的连接。

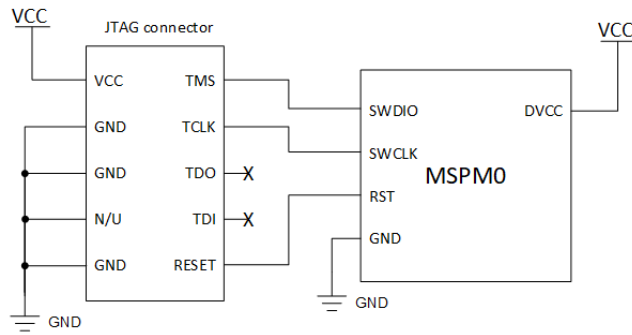


图 5-3. JTAG 和 MSPM0G 连接

对于 MSPM0G 器件，用户可以使用 XDS110 来实现调试或下载功能。下面列出了 XDS110 的内容并提供硬件安装说明。

标准 XDS110

用户可以在 ti.com 中购买标准 XDS110。图 5-4 展示了 XDS110 探针的主要功能区域和接口的简要示意图。

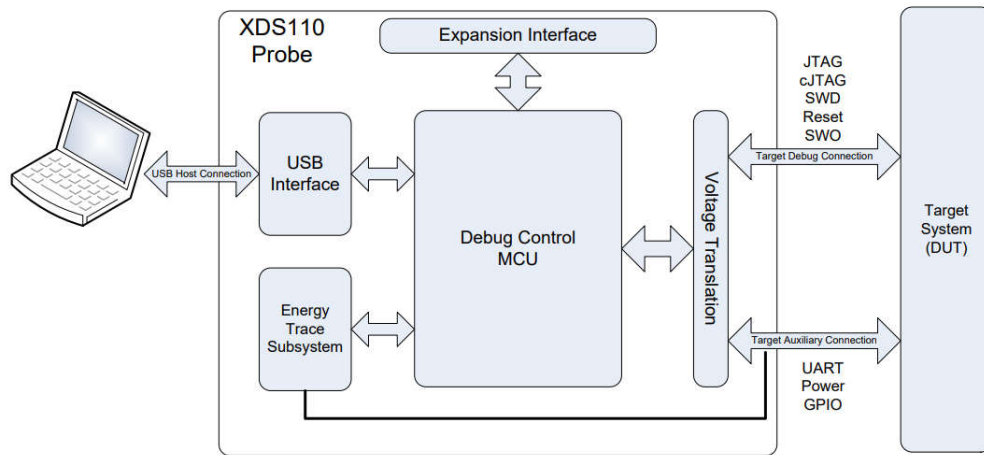


图 5-4. XDS110 探针简要方框图

有关 XDS110 的更多信息，请参阅 [XDS110 调试探针用户指南](#)。

Lite XDS110 (MSPM0 LaunchPad 开发套件)

MSPM0 LaunchPad 套件包含 XDS110-ET (Lite) 电路。用户可以使用此调试器来将固件下载到 MSPM0 器件中。图 5-5 展示了 XDS110-ET 电路。

XDS110-ET 中有两个探针：

2.54mm 探针：该端口支持 SWD 协议，并包含 5V 或 3.3V 电源。用户可以将 SWDIO SWCLK 3V3 GND 连接到电路板，并将固件下载到 MSPM0G 器件中。

该探针还支持 **EnergyTrace** 技术，可精确地实时测量功耗。

有关 EnergyTrace 技术的更多信息，请参阅 [EnergyTrace 技术工具页面](#)。

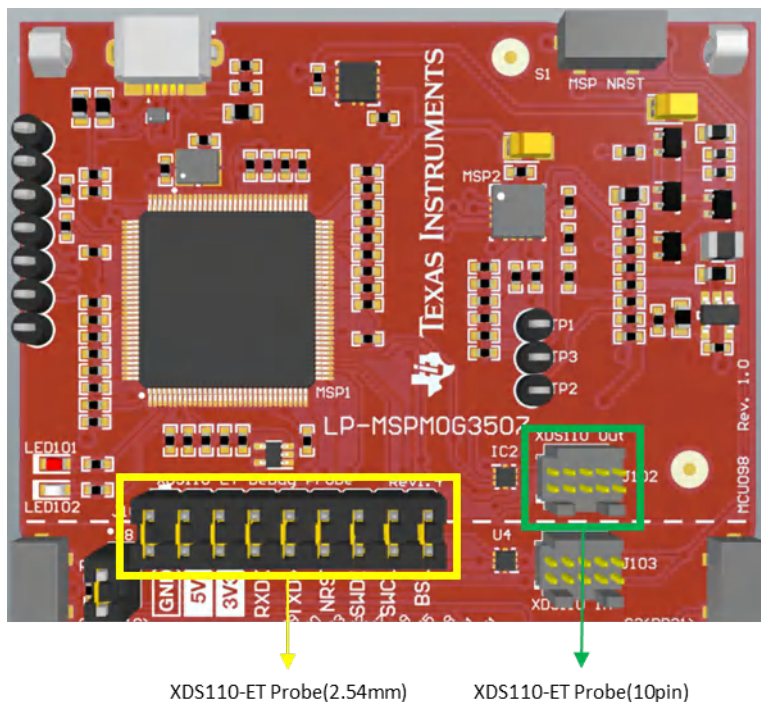


图 5-5. XDS110-ET 电路

10 引脚探针：该端口支持 JTAG 和 SWD 协议，并包含一个 3.3V 电源。用户可以使用 10 引脚电缆来连接电路板和 XDS110-ET，并将固件下载到 MSPM0G 器件中。图 5-6 展示了 10 引脚电缆。



图 5-6. 使用标准 10 引脚电缆

备注

- 标准 XDS110 支持调试端口的电平转换，而 XDS110-ET 仅支持 3.3V 探针电平。
- TI 不建议使用 XDS110 为 MSPM0G MCU 以外的其他器件供电，因为 XDS110 集成了电流驱动能力有限的 LDO。
- XDS110-ET 2.54mm 探针不支持 JTAG 协议。
- XDS110-ET 10 引脚探针不支持 EnergyTrace 技术。

6 主要模拟外设

MSPM0G 系列 MCU 包含一些模拟外设资源，可在芯片内提供许多模拟信号调节功能。为了更大限度地利用 MSPM0G 模拟外设性能，硬件设计中需要考虑一些注意事项。本章讨论了许多典型模拟电路配置的模拟设计注意事项。

6.1 ADC 设计注意事项

MSPM0G 器件具有 12 位、高达 4Msps 的模数转换器 (ADC)。此 ADC 支持快速的 12 位、10 位和 8 位模数转换，该 ADC 实现了一个 12 位 SAR 内核、采样或转换模式控制和多达 12 个独立的转换和控制缓冲区。

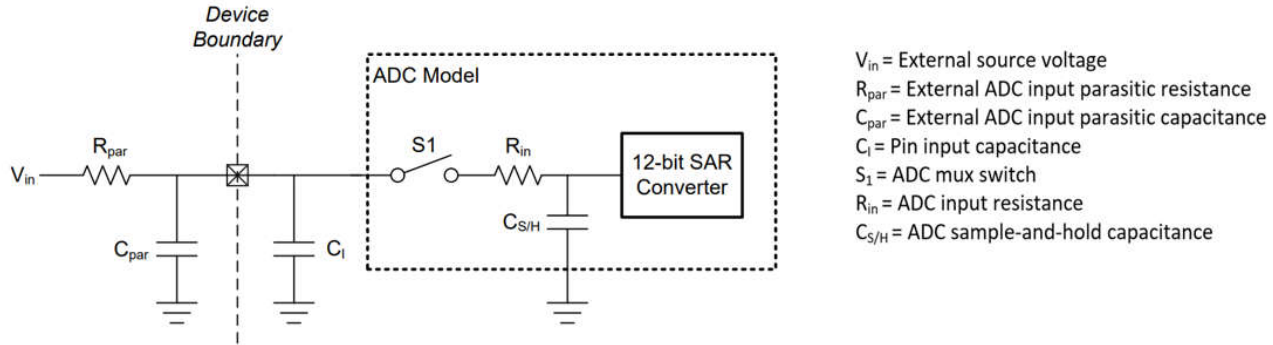


图 6-1. ADC 输入网络

为了实现所需的转换速度并保持高精度，要确保硬件设计中具有适当的采样时间。采样（采样保持）时间决定了在执行数字转换之前对信号进行采样的时间。在采样期间，内部开关允许对输入电容器充电。电容器完全充电所需的时间取决于连接到 ADC 输入引脚的外部模拟前端 (AFE)。图 6-1 显示了 MSPM0G MCU 的典型 ADC 模型。 R_{in} 和 $C_{S/H}$ 值可从器件特定数据表中获取。了解 AFE 驱动能力并计算对信号进行采样所需的最短采样时间。 R_{Par} 和 R_{in} 的电阻值会影响 t_{sample} 。方程式 1 可用于计算 n 位转换的最短采样时间 t_{sample} 的保守值：

$$t_{sample} \geq (R_{par} + R_{in}) \times \ln(2^{n+2}) \times (C_{S/H} + C_1 + C_{Par}) \quad (1)$$

要评估连续高速 (4Msps) ADC 性能，TI 建议添加一个外部缓冲器，以确保提供足够的信号源驱动能力。作为设计参考，请参阅 LP-MSPM0G3507 硬件设计，其中包括推荐的外部 OPA。

6.2 OPA 设计注意事项

MSPM0G OPA 是一款具有可编程增益级的零漂移斩波稳定型运算放大器。OPA 可用于信号放大和缓冲，并可在通用模式、缓冲模式和 PGA 模式下工作。

在通用模式下使用该 OPA 时，可添加一个外部电阻和电容来构成放大器电路。OPA 可通过软件配置为缓冲模式。对于 PGA 模式，软件可以将 OPA 配置为高达 32 倍的 PGA 增益。

备注

PGA 增益仅在负极端子中提供。

当一个器件上有两个或更多个 OPA 时，可以将两个 OPA 组合成一个差分放大器。图 6-2 中的 V_{diff} 公式为差分放大器的输出公式。

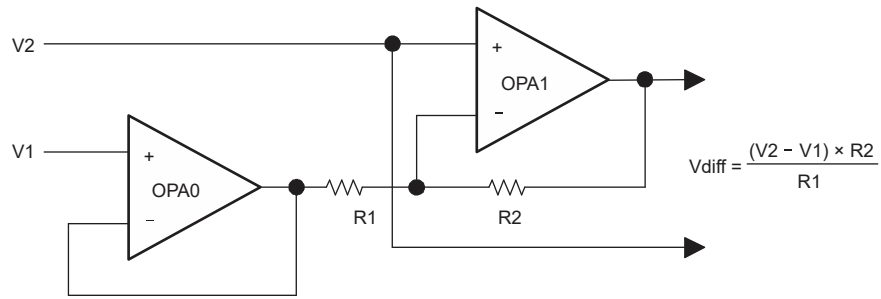


图 6-2. 双 OPA 差分放大器的方框图和公式

或者当一个器件上有两个或更多个 OPA 时，可以将它们组合成一个多级或级联放大器。使用可编程输入多路复用器可以实现反相和同相多级放大器的所有组合。 V_{out} (图 6-3) 为同相到同相级联放大器的输出公式。

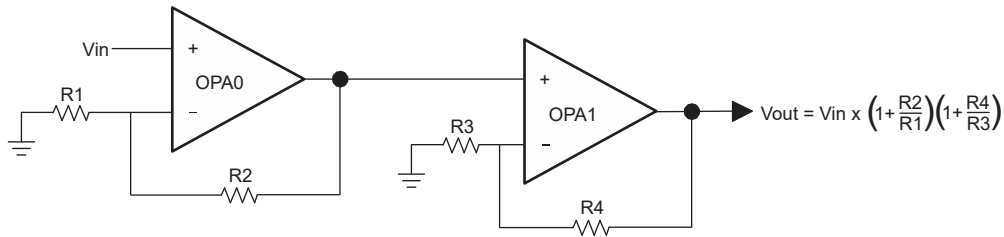


图 6-3. 双 OPA 同相到同相级联放大器的方框图和公式

6.3 DAC 设计注意事项

MSPM0G 器件包含两个 DAC 模块：8 位和 12 位。该 DAC 可用作基准电压，也可与 OPA 一起用于直接驱动输出焊盘。12 位 DAC 模块包含一个缓冲器，因此可直接输出到焊盘。但是，8 位 DAC 模块通常用作 OPA 和 COMP 的内部基准电压，因此，要输出到外部引脚，必须将 OPA 配置为缓冲模式以提高驱动强度。

并非所有器件都包含这两个 DAC 模块。相关详细信息，请参阅器件特定数据表。

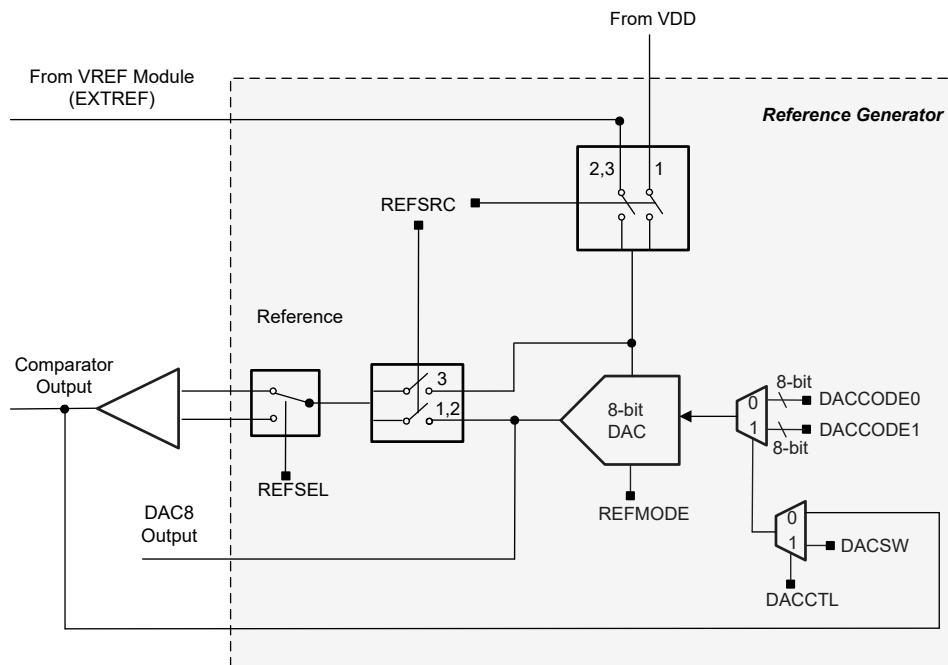


图 6-4. 8 位 DAC 方框图

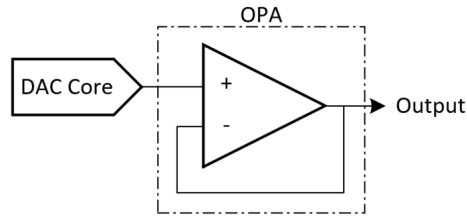


图 6-5. 8 位 DAC 和 OPA 输出方框图

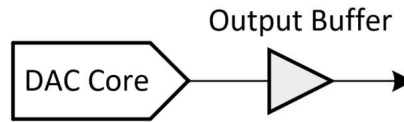


图 6-6. 12 位 DAC 输出方框图

6.4 COMP 设计注意事项

MSPM0G 比较器模块 (COMP) 是具有通用比较器功能的模拟电压比较器。

COMP 模块包括内部和外部输入，可用于灵活地处理模拟信号。内部温度传感器可用作 COMP 的直接输入。

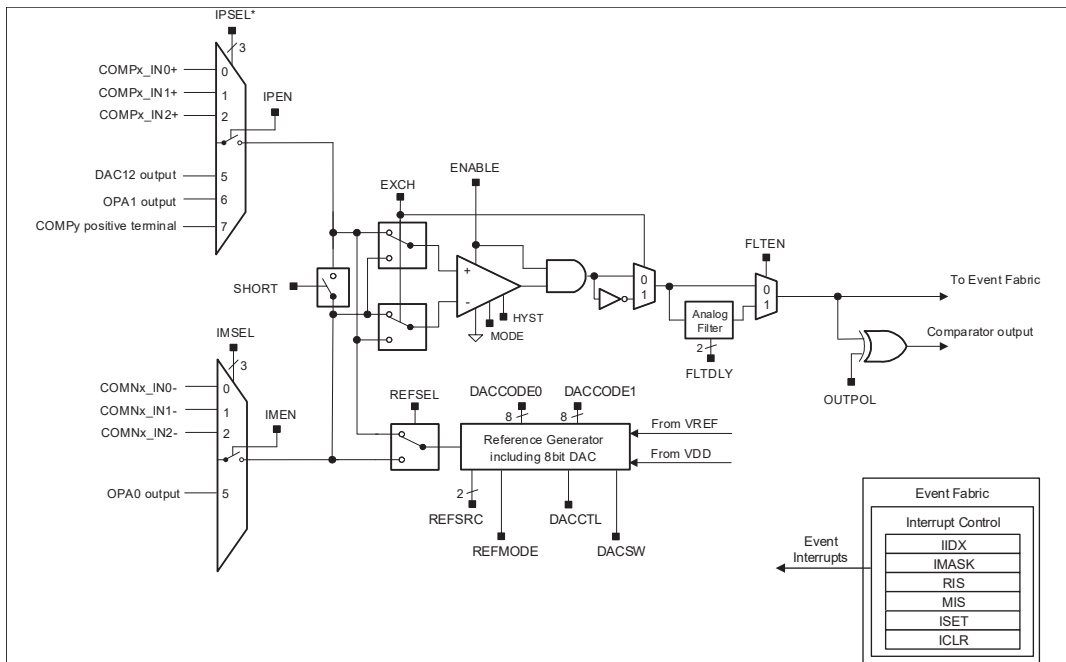


图 6-7. 比较器图

MSPM0G 比较器模块还结合了两个 COMP 来实现窗口比较器功能。如图 6-8 所示，COMP0 和 COMP1 可以一起配置来创建窗口比较器。在此配置中，输入信号连接到连接在一起的比较器的正极端子，上下限值电压连接到比较器的负极端子。

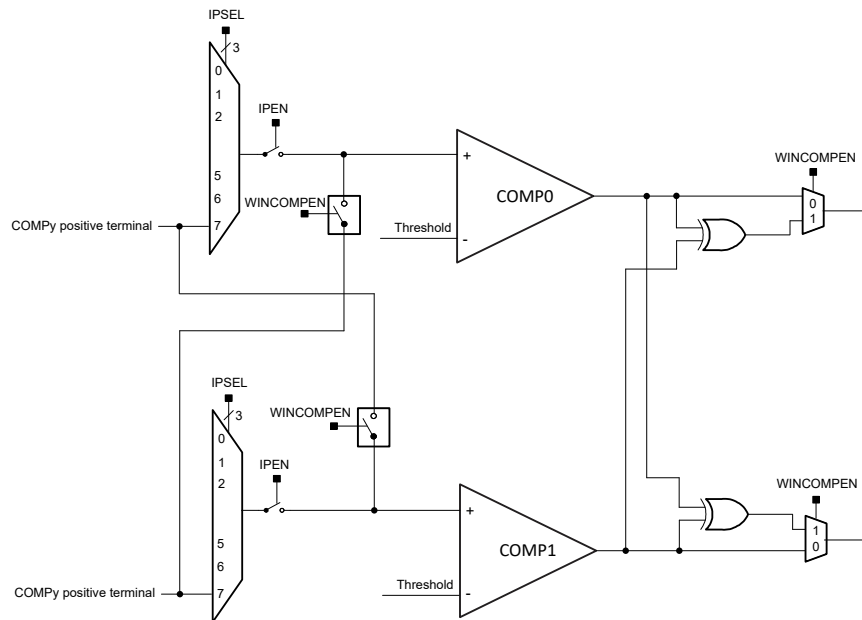


图 6-8. 窗口比较器模式

COMP 模块还包含一个 SHORT 开关，可用于为比较器构建简单的采样保持模块。

如图 6-9 所示，所需的采样时间与采样电容 (CS) 的大小、与短路开关串联的输入开关电阻 (R)，以及外部信号源的电阻 (RS) 成比例。采样电容 CS 必须大于 100pF。为采样电容 CS 充电的时间常数 Tau 可以使用方程式 2 来计算得出。

$$T_{\tau} = (R_I + R_S) \times C_S \tag{2}$$

根据所需的精度，可使用 3Tau 至 10Tau 作为采样时间。对于 3Tau，采样电容器大约充电到输入信号电压电平的 95%。使用 5Tau 时，采样电容器充电到 99% 以上，使用 10Tau 时，采样电压可以充分满足 12 位的精度要求。

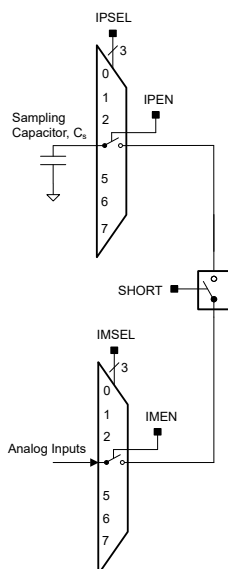


图 6-9. 比较器短路开关

6.5 GPAMP 设计注意事项

MSPM0G 器件包括 GPAMP (通用放大器) 模块, 后者可用于通过一些外部电阻器和电容器进行信号放大, 如图 6-10 所示。

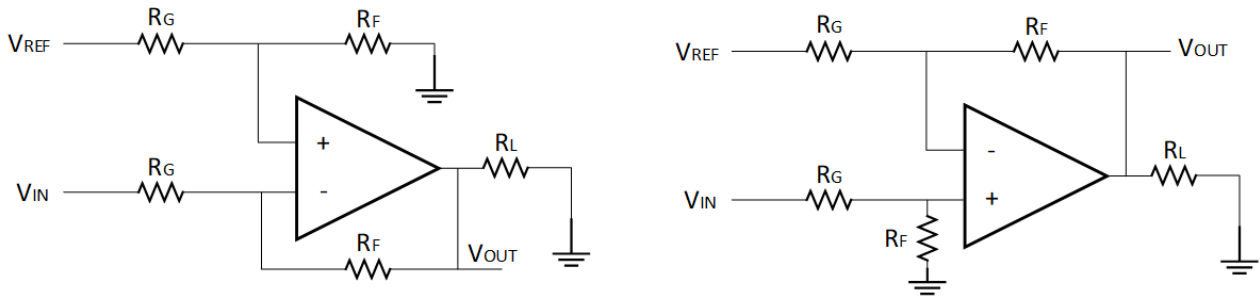


图 6-10. 放大模式下的 GPAMP 电路

GPAMP 也可用作内部 ADC 的缓冲器。图 6-11 显示了该配置的示例。

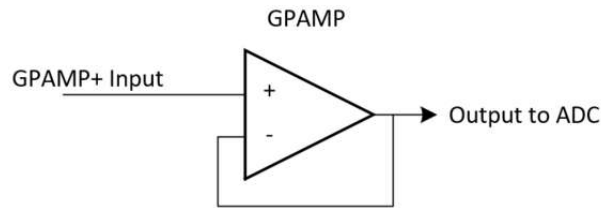


图 6-11. 缓冲模式下的 GPAMP 电路

7 主要数字外设

MSPM0G 系列 MCU 包含大量数字外设资源，如计时器、UART、SPI、MCAN、LIN 等，可提供丰富的通信功能。为了更最大限度地利用 MSPM0G 数字外设，硬件设计中需要考虑一些注意事项。本章讨论了许多典型数字外设配置的设计注意事项。

7.1 计时器资源和设计注意事项

计时器是任何 MCU 中最基本和最重要的模块之一，并且所有应用中都会使用此资源。此项可用于定期处理任务、延迟、输出 PWM 波形，以驱动至器件、检测外部脉冲的宽度和频率，以及模拟波形输出等。

MSPM0G 系列 MCU 包括两种类型的计时器模块：高级计时器 (TIMA) 和通用计时器 (TIMG)。TIMA 和 TIMG 是计时器计数模块，可用于多种功能，包括测量输入信号边沿和周期 (捕捉模式) 或者生成 PWM 信号等输出波形 (比较模式输出)。但是，TIMA 增加了其他特性，例如具有死区插入的互补 PWM。表 7-1 和表 7-2 中汇总展示了各个计时器的不同特性和配置。

表 7-1. TIMA 实例配置

| 实例 | 电源域 | 计数器分辨率 | 预分频器 | 重复计数器 | CCP 通道 | 相负载 | 影子负载 | 流水线型 CC | 死区 | 故障处理程序 | QE1 |
|-------|-----|--------|------|-------|--------|-----|------|---------|----|--------|-----|
| TIMA0 | PD1 | 16 位 | 8 位 | 8 位 | 4 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | - |
| TIMA1 | PD1 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | 是 | 是 | 是 | 是 | 是 | - |

表 7-2. TIMG 实例配置

| 实例 | 电源域 | 计数器分辨率 | 预分频器 | 重复计数器 | CCP 通道 | 相负载 | 影子负载 | 影子 CC | 死区 | 故障处理程序 | QE1/霍尔输入模式 |
|--------|-----|--------|------|-------|--------|-----|------|-------|----|--------|------------|
| TIMG0 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | - |
| TIMG1 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | - |
| TIMG2 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | - |
| TIMG3 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | - |
| TIMG4 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | 是 | 是 | - | - | - |
| TIMG5 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | 是 | 是 | - | - | - |
| TIMG6 | PD1 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | 是 | 是 | - | - | - |
| TIMG7 | PD1 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | 是 | 是 | - | - | - |
| TIMG8 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | 是 |
| TIMG9 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | 是 |
| TIMG10 | PD1 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | 是 |
| TIMG11 | PD1 | 16 位 | 8 位 | - | 2 | - | - | - | - | - | 是 |
| TIMG12 | PD1 | 32 位 | - | - | 2 | - | - | 是 | - | - | - |
| TIMG13 | PD1 | 32 位 | - | - | 2 | - | - | 是 | - | - | - |
| TIMG14 | PD0 | 16 位 | 8 位 | - | 4 | - | - | - | - | - | - |

- 查看特定于器件的数据表，以便检查器件上提供了哪些 TIMG 实例
- 查看 [MSPM0G 系列 80MHz 微控制器技术参考手册](#) 中每个 TIMG 实例可用的特性

7.2 UART 和 LIN 资源以及设计注意事项

MSPM0G 系列微控制器包括通用异步接收器/发送器 (UART)。如表 7-3 所示，UART0 至 UART7 支持 LIN、DALI、IrDA、ISO7816 曼彻斯特编码功能。

表 7-3. UART 特性

| UART 特性 | UART 扩展模块 | UART 主模块 (支持低功耗模式) | UART 主模块 |
|-----------------------|-------------|--------------------|-------------|
| 实例 | UART0、UART7 | UART1、UART2 | UART3-UART6 |
| 在停止和待机模式下处于运行状态 | 是 | 是 | - |
| 独立的发送和接收 FIFO | 是 | 是 | 是 |
| 支持硬件流控制 | 是 | 是 | 是 |
| 支持 9 位配置 | 是 | 是 | 是 |
| 支持 LIN 模式 | 是 | - | - |
| 支持 DALI | 是 | - | - |
| 支持 IrDA | 是 | - | - |
| 支持 ISO7816 Smart Card | 是 | - | - |
| 支持曼彻斯特编码 | 是 | - | - |

MSPM0G UART 模块可支持电源域 1 中高达 10MHz 的波特率，以用于几乎所有 UART 应用。

表 7-4. MSPM0G UART 规格

| 参数 | | 测试条件 | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---------------------|--------------------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|
| f_{UART} | UART 输入时钟频率 | 电源域 1 中的 UART | | | 80 | MHz |
| f_{UART} | UART 输入时钟频率 | 电源域 0 中的 UART | | | 40 | MHz |
| f_{BITCLK} | BITCLK 时钟频率 (等于波特率, 单位为 MBaud) | 电源域 1 中的 UART | | | 10 | MHz |
| f_{BITCLK} | BITCLK 时钟频率 (等于波特率, 单位为 MBaud) | | | | 5 | MHz |
| t_{SP} | 由输入滤波器进行抑制的尖峰的脉冲持续时间 | AGFSELx = 0 | | 6 | | ns |
| | | AGFSELx = 1 | | 14 | 35 | ns |
| | | AGFSELx = 2 | | 22 | 60 | ns |
| | | AGFSELx = 3 | | 35 | 90 | ns |

本地互连网络 (LIN) 是一种常用的低速网络接口，由一个命令节点与多个远程响应者节点通信组成。通信只需一根线，通常包含在车辆接线束中。

TLIN1021A-Q1 变速器支持高达 20 kbps 的数据速率。收发器通过 TXD 引脚控制 LIN 总线的状态，并通过开漏 RXD 输出引脚报告总线的状态。该器件具有限流波形整形驱动器，用于降低电磁辐射 (EME)。

TLIN1021A-Q1 旨在为 12V 应用提供支持，具有宽输入工作电压范围。该器件支持低功耗睡眠模式，并可通过 LIN、WAKE 引脚或 EN 引脚从低功耗模式唤醒。该器件可以通过 TLIN1021A-Q1 INH 输出引脚选择性地启用节点上可能存在的各种电源，从而在整个系统级别减少电池电流消耗。图 7-1 展示了使用 TI TLIN1021A LIN 收发器实现的典型接口。

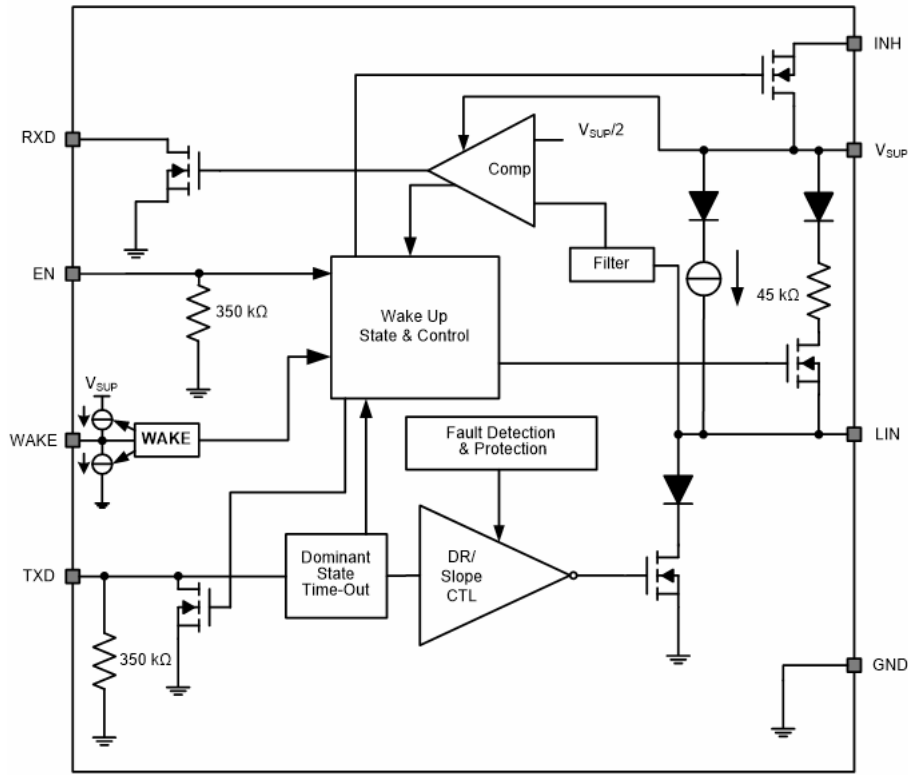


图 7-1. 典型的 LIN TLIN1021A 收发器

通信只需一根线，通常包含在车辆接线束中。图 7-2 和图 7-3 展示了使用 TI TLIN1021A LIN 收发器实现的典型接口。有关更多信息，请参阅 [TLIN1021A-Q1 具有抑制和唤醒功能的故障保护 LIN 收发器数据表](#)。

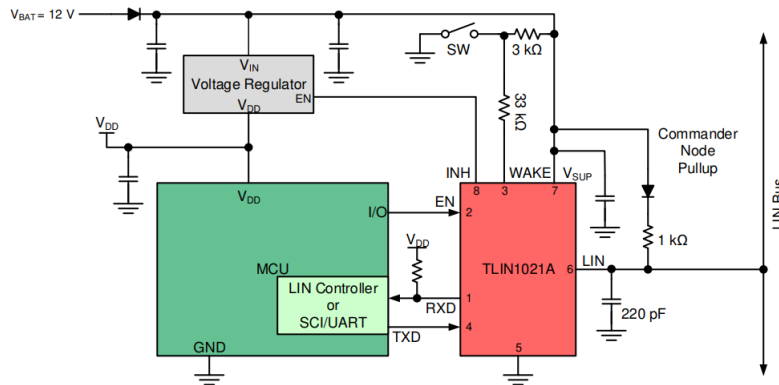


图 7-2. 带有 MSPM0G 的典型 LIN 应用 (指挥官)

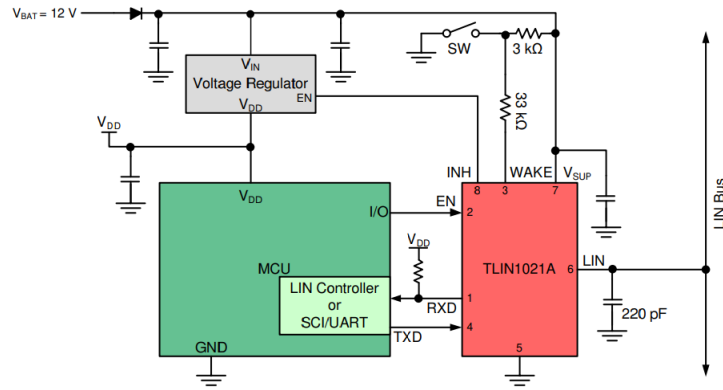


图 7-3. 带有 MSPM0G 的典型 LIN 应用 (响应者)

7.3 MCAN 设计注意事项

控制器局域网 (CAN) 是一种串行通信协议，用于有效地为具有高可靠性的分布式实时控制提供支持。CAN 具有较高的抗电气干扰能力，并且能够检测各种类型的错误。在 CAN 中，许多较短的信息会广播到整个网络，从而在系统的每个节点中提供数据一致性。

MCAN 模块支持传统 CAN 和 CAN FD (具有灵活数据速率的 CAN) 协议。CAN FD 特性可实现更高的吞吐量和增加每个数据帧的有效负载。传统 CAN 和 CAN FD 器件可以在同一网络上共存而不会发生任何冲突，前提是传统 CAN 器件使用部分网络收发器，其中该收发器可以检测和忽略 CAN FD，而不产生总线错误。MCAN 模块符合 ISO 11898-1:2015 标准。

一些 MSPM0G 器件包括 MCAN 和 LIN 模块。要正常连接到 CAN 和 LIN 总线，器件需要外部 MCAN 收发器或 LIN 收发器，如图 7-4 所示。

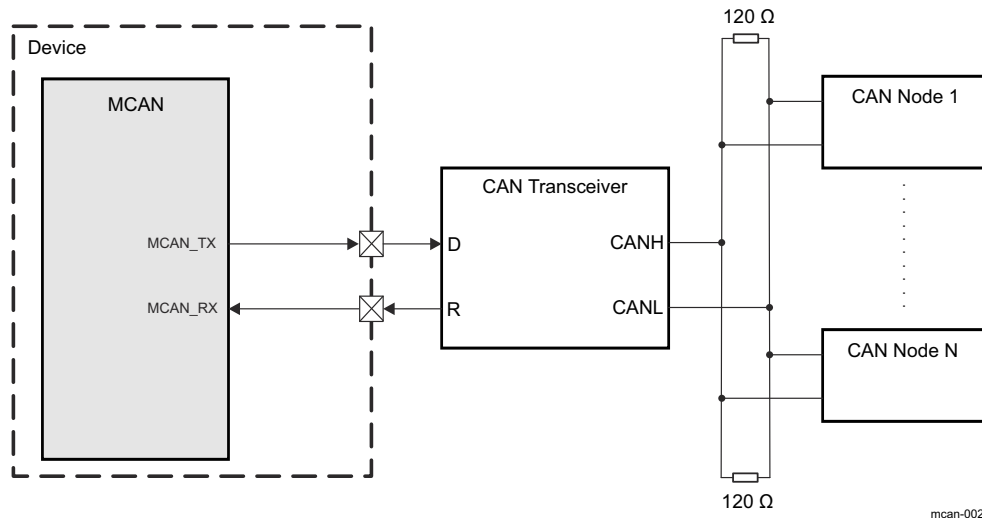


图 7-4. MCAN 典型总线布线

TCAN1042GV 是一款 CAN 收发器，符合 ISO11898-2 (2016) 高速 CAN (控制器局域网) 物理层标准。此项可用于速率高达 5Mbps (兆位/秒) 的 CAN FD 网络，其中提供 I/O 电平的辅助电源输入，用于设置输入引脚阈值和 RXD 输出电平。该器件具备低功耗待机模式及远程唤醒请求特性。此外，该器件都提供多种保护特性来提高器件和网络的耐用性。图 7-5 包括参考设计电路。有关更多详细信息、请参阅 [TCAN1042-Q1 汽车级具有 CAN FD 的故障保护 CAN 收发器数据表](#)。

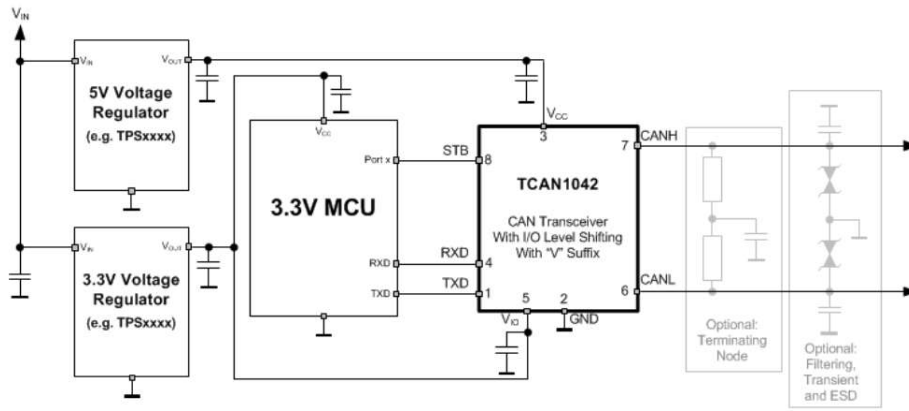


图 7-5. 使用 MSPM0G 的典型 CAN 总线应用

7.4 I2C 和 SPI 设计注意事项

SPI 和 I2C 协议广泛用于器件或电路板之间的通信，例如 MCU 和传感器之间的数据交换。MSPM0G 系列 MCU 包括高达 32MHz 的高速 SPI，并支持 3 线、4 线、芯片选择和命令模式。请参阅图 7-6 来根据具体要求设计系统。

一些 SPI 外设器件需要 PICO (外设输入控制器输出) 保持逻辑高电平。如果外部器件需要上拉电阻器，请在 PICO 引脚上添加一个上拉电阻。

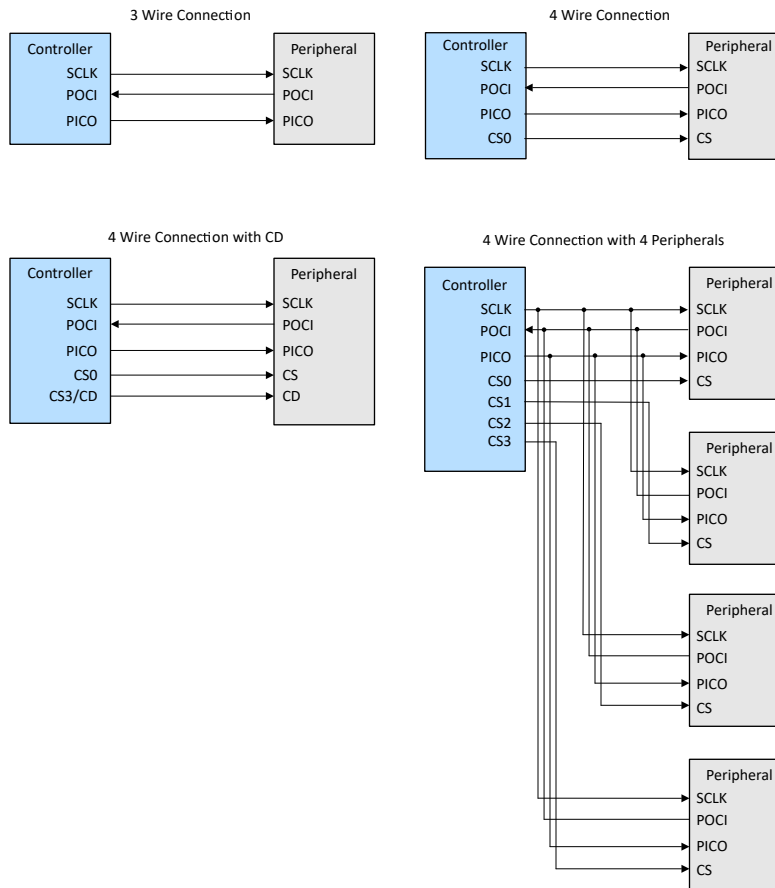


图 7-6. 针对不同 SPI 配置的外部连接

对于 I2C 总线，MSPM0G 器件支持标准、快速和超快速模式，如表 7-5 所示。

使用 I2C 总线时，需要外部上拉电阻。这些电阻的值取决于 I2C 速度。TI 建议使用 2.2k，以便支持超快速模式。对于关注功耗的系统，可以使用大电阻值。ODIO (请参阅 GPIO) 可用于实现与 5V 器件的通信。

表 7-5. MSPM0G I2C 特性

| 参数 | | 测试条件 | 标准模式 | | 快速模式 | | 快速模式 + | | 单位 |
|---------------|--------------------------|--------------|------|-----|------|-----|--------|-----|-----|
| | | | 最小值 | 最大值 | 最小值 | 最大值 | 最小值 | 最大值 | |
| f_{I2C} | I2C 输入时钟频率 | 电源域 0 中的 I2C | 2 | 32 | 8 | 32 | 20 | 32 | MHz |
| f_{SCL} | SCL 时钟频率 | | 0.1 | | 0.4 | | 1 | | MHz |
| $t_{HD, STA}$ | 保持时间 (重复) 启动 | | 4 | | 0.6 | | 0.26 | | us |
| t_{LOW} | SCL 时钟的低电平周期 | | 4.7 | | 1.3 | | 0.5 | | us |
| t_{HIGH} | SCL 时钟的高电平周期 | | 4 | | 0.6 | | 0.26 | | us |
| $t_{SU, STA}$ | 一个针对重复启动的建立时间 | | 4.7 | | 0.6 | | 0.26 | | us |
| $t_{HD, DAT}$ | 数据保持时间 | | 0 | | 0 | | 0 | | us |
| $t_{SU, DAT}$ | 数据建立时间 | | 250 | | 100 | | 50 | | us |
| $t_{SU, STO}$ | 停止的建立时间 | | 4 | | 0.6 | | 0.26 | | us |
| t_{BUF} | STOP 与 START 条件之间的总线空闲时间 | | 4.7 | | 1.3 | | 0.5 | | us |
| $t_{VD, DAT}$ | 数据有效时间 | | 3.45 | | 0.9 | | 0.45 | | us |
| $t_{VD, ACK}$ | 数据有效确认时间 | | 3.45 | | 0.9 | | 0.45 | | us |

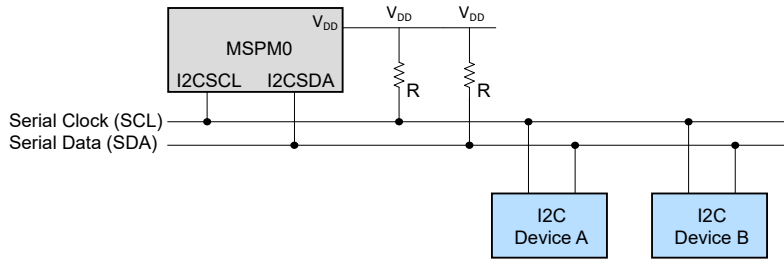


图 7-7. 典型 I2C 总线连接

8 GPIO

MSPM0G 系列 MCU 包括标准驱动 I/O (SDIO)、高驱动 I/O (HDIO)、高速 I/O (HSIO) 和 5V 容限开漏 I/O (ODIO)。用户可以根据实际要求灵活选择合适的 I/O 类型。硬件设计中需要考虑以下特性。

8.1 GPIO 输出开关速度和负载电容

将 GPIO 用作 I/O 时，必须考虑设计注意事项以确认正确运行。随着负载电容增大，I/O 引脚的上升和下降时间会增加。该电容包括引脚寄生电容 ($C_i = 5\text{pF}$ (典型值)) 和电路板走线的影响。I/O 特性可在器件具体的数据表中找到。表 8-1 列出了 MSPM0G 器件的 I/O 输出频率特性。

表 8-1. MSPM0G GPIO 开关特性

| 参数 | | 测试条件 | | 最小值 | 典型值 | 最大值 | 单位 |
|---------------|-----------|------------------|---|--------------------|-----|----------------------|-----|
| f_{\max} | 端口输出频率 | SDIO | $VDD \geq 1.71\text{V}$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 16 | MHz |
| | | | $VDD \geq 2.7\text{V}$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 32 | |
| | | HSIO | $VDD \geq 1.71\text{V}$, $DRV = 0$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 16 | |
| | | | $VDD \geq 1.71\text{V}$, $DRV = 1$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 24 | |
| | | | $VDD \geq 2.7\text{V}$, $DRV = 0$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 32 | |
| | | | $VDD \geq 2.7\text{V}$, $DRV = 1$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 40 | |
| | | HDIO | $VDD \geq 1.71\text{V}$, $DRV = 0$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 16 | |
| | | | $VDD \geq 2.7\text{V}$, $DRV = 0$, $C_L = 20\text{pF}$ | | | 20 | |
| | | ODIO | $VDD \geq 1.71\text{V}$, FM^* , $C_L = 20\text{pF}$ 至 100pF | | | 1 | |
| t_r , t_f | 输出上升或下降时间 | 除 ODIO 以外的所有输出端口 | $VDD \geq 1.71\text{V}$ | | | $0.3 \cdot f_{\max}$ | s |
| t_f | 输出下降时间 | ODIO | $VDD \geq 1.71\text{V}$, FM^* , $C_L = 20\text{pF}$ 至 100pF | $20 \cdot VDD/5.5$ | | 120 | ns |

备注

- 在指定的翻转频率下，输出电压至少达到 V_{CC} 的 10% 和 90%。
- 开漏 I/O 的输出上升时间由上拉电阻和负载电容决定。

8.2 GPIO 灌电流和拉电流

表 8-2. MSPM0G GPIO 最大绝对额定值

| | | 最小值 | 标称值 | 最大值 | 单位 |
|--------------------------------|-------------------------------------|------|------|-----|--------------------|
| VDD | 电源电压 | 1.62 | | 3.6 | V |
| VCORE | VCORE 引脚上的电压 | | 1.35 | | V |
| C_{VDD} | VDD 和 VSS 之间放置的电容器 | | 10 | | μF |
| C_{VCORE} | VCORE 和 VSS 之间放置的电容器 | | 470 | | nF |
| T_A | 环境温度, T 版本 | -40 | | 105 | $^{\circ}\text{C}$ |
| | 环境温度, S 版本 | -40 | | 125 | |
| T_A | 环境温度, Q 版本 | -40 | | 125 | $^{\circ}\text{C}$ |
| T_J | 最大结温, T 版本 | | | 125 | $^{\circ}\text{C}$ |
| T_J | 最高结温, S 和 Q 版本 | | | 130 | $^{\circ}\text{C}$ |
| f_{MCLK} (PD1 总线时钟) | 具有 2 个闪存等待状态的 MCLK、CPUCLK、ULPCLK 频率 | | | 80 | MHz |
| | 具有 1 个闪存等待状态的 MCLK、CPUCLK、ULPCLK 频率 | | | 48 | |
| | 具有 0 个闪存等待状态的 MCLK、CPUCLK、ULPCLK 频率 | | | 24 | |
| f_{ULPCLK} (PD0 总线时钟) | ULPCLK 频率 | | | 40 | MHz |

备注

- I/O 的总电流必须小于 I_{VDD} 的最大值。
- HDIO、HSIO 和 ODIO 在固定引脚上进行了增补；请参阅器件数据表。

SDIO 和 HSIO 能够灌入或拉取 6mA (典型值) 的最大电流, 该电流足以驱动典型 LED。对于较大的电流负载, 请使用 HDIO (最大电流为 20mA (典型值))。但是, 组合在一起的总电流必须小于 I_{VDD} (典型值 80mA)。

8.3 高速 GPIO (HSIO)

HSIO 可以支持高达 40MHz 的频率, 该速度与总线时钟、电源电压和负载电容有关。用户还可以通过 DIO 寄存器中的 DRV 位来选择最大输出频率。

8.4 高驱动 GPIO (HDIO)

HDIO 能够输出 20mA 的电流来驱动负载, 而最大拉电流与电源电压有关。

8.5 开漏 GPIO 可在没有电平转换器的情况下支持 5V 通信

ODIO 可承受 5V 输入。由于 ODIO 是开漏的, 因此该引脚需要一个外部上拉电阻才能输出高电平。该 I/O 可用于具有不同电压电平的 UART 或 I2C 接口。为了限制电流, 请在该引脚和上拉电阻之间放置一个串联电阻, 并且 R_{SERIES} 不得小于 250 Ω 。如图 8-1 所示, TI 建议使用 270 Ω 。上拉电阻的值取决于输出频率 (请参阅节 7.4)。

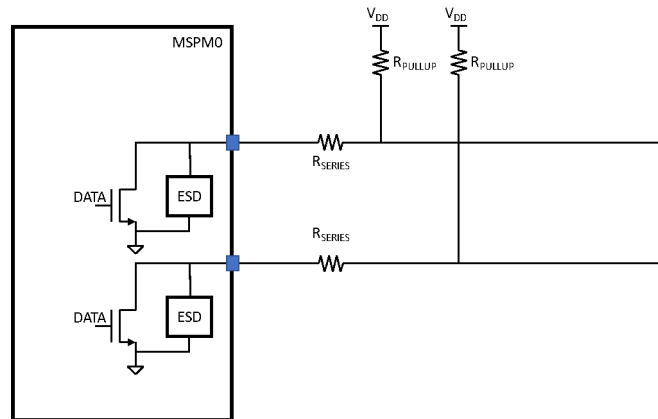


图 8-1. 建议的 ODIO 电路

8.6 在没有电平转换器的情况下与 1.8V 器件通信

MSPM0G 系列器件使用 3.3V 逻辑电平 (不包括 ODIO)。如果用户需要与 1.8V 器件通信, 并且不使用外部电平转换器器件, 图 8-2 给出了一个用于连接 1.8V 器件的建议电路。

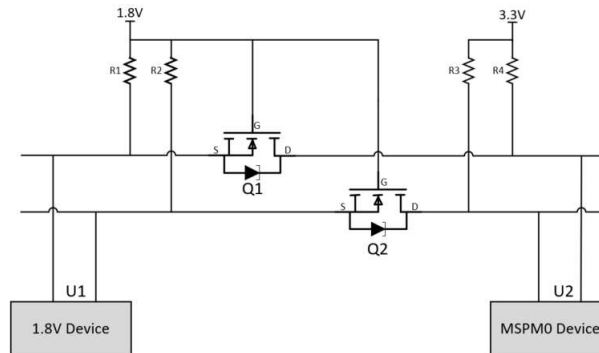


图 8-2. 与 1.8V 器件通信的建议电路

此电路中使用两个 MOSFET。检查 VGS 以确保该 MOSFET 可以在低 RDS(on) 下完全导通。对于 1.8V 器件，请使用低于 1.8V 的 VGS MOSFET。但是，过低的 VGS MOSFET 可能会导致 MOSFET 在极低的电压下导通 (MCU 逻辑将其判断为 0)，从而导致通信逻辑错误。

U1 输出和 U2 输入

1. U1 输出 1.8V 高电平，Q1 VGS 约为 0，因此 Q1 关断，U2 通过 R4 读取 3.3V 高电平。
2. U1 输出低电平，Q1 VGS 接近 1.8V，因此 Q1 导通，U2 读取低电平。

U1 输入和 U2 输出

1. 如果 U2 输出为 3.3V 高电平，U1 通过 R1 保持 1.8V，且 Q1 关断，因此 U1 读取 1.8V 高电平。
2. 如果 U2 输出为低电平，则通过 R1 将 U1 保持在 1.8V。但 MOSFET 中的二极管会将 U1 拉低至 0.7V (二极管压降)，进而使 VGS 大于导通电压，Q1 导通，U1 读取低电平。

8.7 未使用引脚连接

所有微控制器均专为多种应用而设计，通常特定应用不会使用 100% 的 MCU 资源。要提高 EMC 性能，不得将未使用的时钟、计数器或 I/O 保持空闲或悬空。例如，将 I/O 设置为 0 或 1 (在未使用的 I/O 引脚上启用上拉或下拉) 并禁用未使用的特性。

表 8-3. 未使用引脚的连接

| 引脚 | 电势 | 注释 |
|-----------|-----|--|
| PAx | 开路 | 将相应的引脚功能保留为 GPIO (PINCMx.PF = 0x0)，默认设置为 Hi-Z 模式 |
| OPAx_IN0- | 开路 | 该引脚处于高阻抗状态。 |
| NRST | VDD | NRST 为低电平有效复位信号，必须上拉至 VCC，否则器件无法启动。 |

备注

- 为了减少泄漏，TI 建议将 IO 保持为未配置状态。IO 默认为 Hi-Z。
- 必须下拉 BSL 调用引脚，以避免在复位后进入 BSL 模式。

9 布局指南

9.1 电源布局

图 9-1 展示了电源布局的典型器件放置和布线；您必须针对 MSPM0G 器件进行相应修改。您可以选择将滤波电感与 VCC 和 MCU VDD 引脚串联。该电感用于滤除 DCDC 的开关噪声频率。有关具体值，请参阅 DCDC 供应商的数据表。MSPM0G 器件数据表中的 C1/C2/C3 值及布局。

备注

- 保持最小电容并尽可能靠近 MCU VDD 引脚 ($C1 < C2 < C3$)。
- 直接连接所有布线，而不使用任何过孔。

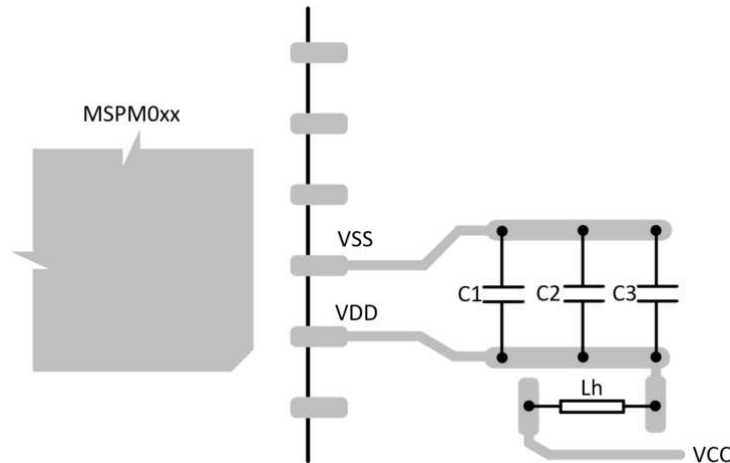


图 9-1. 建议的电源布局

9.2 接地布局注意事项

系统地是电路板上与噪声和 EMI 问题相关的最关键区域和基础。要更大限度地减少这些问题，最实用的方法是使用单独的接地平面。

什么是接地噪声？

来自电路（例如驱动器）的每个信号都有一个通过接地路径流向其来源的返回电流。随着频率升高，甚至对于继电器等简单但高电流的开关，由于存在线路阻抗，因此会产生压降，进而会在接地方案中产生干扰。返回路径始终是阻力最小的路径。对于直流信号，这是电阻最小的路径。对于高频信号，这是阻抗最低的路径。这说明了接地平面如何简化该问题，并且是确保信号完整性的关键。

TI 不建议数字返回信号在模拟返回（接地）区域内传播；因此，设计人员必须分离接地平面，以将所有数字信号返回环路保持在接地区域内。需要小心地完成拆分。许多设计使用单个（通用）稳压器来生成具有相同电压电平（例如 3.3V）的数字和模拟电源。用户需要将模拟电源轨和数字电源轨及各自接地端相互隔离。隔离接地端时请小心，因为两个接地都必须在某处短接。图 9-2 展示了如何防止数字信号的可能返回路径形成一个通过模拟接地的环路。在每个设计中，考虑元件放置方式等因素来确定公共点。请勿添加与任何接地布线串联的任何电感器（铁氧体磁珠）或电阻器（甚至不是 $0\ \Omega$ ）。由于高频下的相关电感，阻抗会增加，从而会导致电压差。请勿将以数字地为基准的信号路由到模拟地或其他方向。

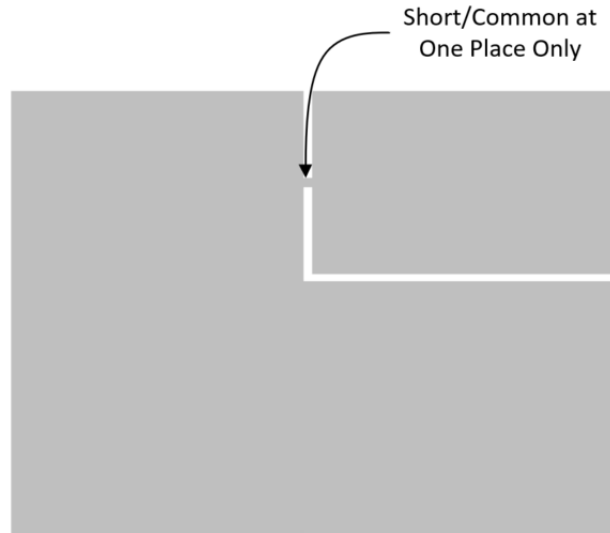


图 9-2. 数字地和模拟地以及公共区域

9.3 布线、过孔和其他 PCB 元件

布线中的直角可能会导致更多辐射。转角区域的电容会增加，并且特征阻抗会改变。这种阻抗变化会导致反射。避免布线中出现直角弯曲，并尝试以至少两个 45° 角进行布线。为了尽量减少阻抗变化，最好的布线方式是圆形弯曲，如图 9-3 所示。

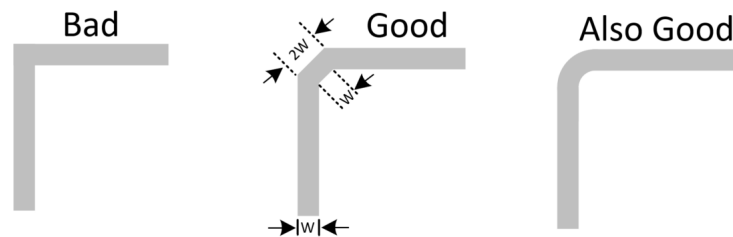


图 9-3. 直角弯曲布线的错误和正确方式

为了更大限度地减少串扰，在一层上和相邻的层之间，两个信号之间都应相互呈 90° 布线。更复杂的电路板在布线时需要使用过孔；但是，使用过孔时必须小心，因为这些过孔会增加额外的电感和电容，并且会由于特征阻抗的变化而产生反射。过孔还会增加布线长度。使用差分信号时，还要在两条布线中使用过孔或补偿另一条布线中的延迟。

对于信号布线，请注意高频脉冲信号的影响，尤其是对相对较小的模拟信号（如传感器信号）的影响。交叉过多会将高频信号的电磁噪声耦合到模拟信号中，这会导致信号的信噪比较低并影响信号质量。因此，在设计时应避免交叉。但是，如果确实存在不可避免的交叉点，则 TI 建议垂直相交，以更大限度地减少电磁噪声的干扰。图 9-4 展示了如何降低该噪声。

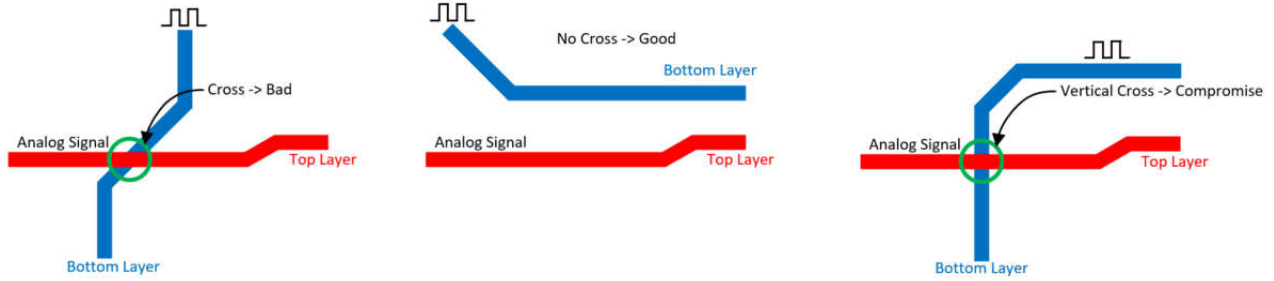


图 9-4. 模拟和高频信号的错误和正确交叉布线

9.4 如何选择电路板层和建议堆叠

为了减少高速信号上的反射，应匹配拉电流、灌电流和传输线路之间的阻抗。信号布线的阻抗取决于几何形状及相对于任何参考平面的位置。

针对特定的阻抗要求，差分对之间的布线宽度和间距取决于所选的 PCB 堆叠。由于根据 PCB 技术的类型和成本要求，最小布线宽度和间距存在限制，因此需要选择 PCB 堆叠，来实现所有必需的阻抗。

可使用的最小配置为 2 个堆叠。对于具有多个高速信号且非常密集的 PCB，需要使用 4 层或 6 层电路板。

以下堆叠 (请参阅图 9-5) 是一个 4 层电路板示例，可用作进行堆叠评估和选择的起点。这些堆叠配置使用靠近电源平面的 GND 平面来增加电容并减小 GND 和电源平面之间的间隙。顶层的高速信号具有一个实心 GND 参考平面，这有助于减少 EMC 辐射。增加层数并为每个 PCB 信号层提供 GND 参考将进一步提高辐射 EMC 性能。

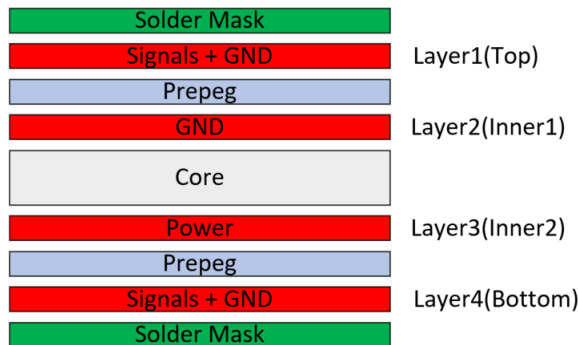


图 9-5. 四层 PCB 堆叠示例

如果系统不是很复杂，并且没有高速信号或一些敏感的模拟信号，那么 2 个堆叠的结构就足够了。

10 引导加载程序

10.1 引导加载程序简介

引导加载程序是一种固件 IP（随器件预编程的软件），可用于使用 UART 或 I2C 等串行接口对 SoC 的存储器（闪存和 SRAM）进行编程。引导加载程序通常会在引导代码运行完成后、器件即将启动客户应用时调用。为了支持生产编程用例，一些引导加载程序还会提供更多接口，比如 SPI 或 CAN。引导加载程序也可用于现场更新。

10.2 引导加载程序硬件设计注意事项

10.2.1 物理通信接口

MSPM0G 引导加载程序 (BSL) 在 UART 和 I2C 串行接口上实现。在 MSPM0G 器件中，BSL 可以自动选择用于与器件通信的接口。BSL 通信引脚在基于 ROM 的引导加载程序中预定义。所使用的外设接口具体实例取决于所选器件，并可在器件特定的数据表中找到。在硬件设计之前，请参阅器件数据表以确定 BSL 通信功能分配了哪个引脚。

备注

必须下拉 BSL 调用引脚，以避免在复位后进入 BSL 模式。

10.2.2 硬件调用

引导加载程序支持在 BOOTRST 之后通过 GPIO 进行硬件调用。NONMAIN 闪存中的 BSL 配置包含 GPIO 调用的焊盘、引脚和极性定义。器件由 TI 针对特定的 GPIO 和极性进行配置，但软件可以通过修改 NONMAIN 闪存中 BSL 配置中的 GPIO 引脚配置来更改此默认设置。请参阅特定于器件的数据表以确定默认的 BSL 调用 GPIO。图 10-1 展示了通过 GPIO 引脚 PA18 以高电平触发引导加载程序的示例。

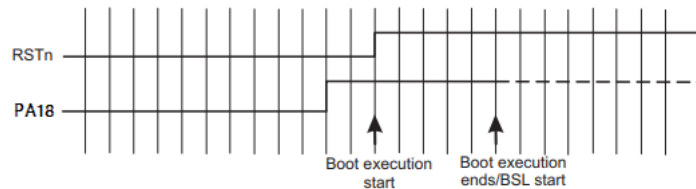


图 10-1. 配置的 GPIO 引脚上的 BSL 进入序列

11 总结

本应用手册涵盖硬件开发的各个方面，包括电源、复位电路、时钟、调试器连接、模拟和数字外设、GPIO 以及电路板布局指南。本文档可帮助用户按照本应用手册中介绍的注意事项快速开始硬件设计。

12 参考资料

1. 德州仪器 (TI), [MSPM0G350x 具有 CAN-FD 接口的混合信号微控制器数据表](#)
2. 德州仪器 (TI), [MSPM0 G 系列 80MHz 微控制器, 技术参考手册](#)
3. 德州仪器 (TI), [MSPM0 L 系列 MCU 硬件开发指南, 应用手册](#)
4. 德州仪器 (TI), [TLIN1021A-Q1 具有抑制和唤醒功能的故障保护 LIN 收发器数据表](#)
5. 德州仪器 (TI), [TCAN1042-Q1 汽车级具有 CAN FD 的故障保护 CAN 收发器数据表](#)

13 修订历史记录

| Changes from Revision D (March 2026) to Revision E (April 2026) | Page |
|--|-------------|
| • 更新了表 1-1 关于 VREF+ 和 VREF- 的信息..... | 3 |
| • 更新了表 8-3 有关 PAX 未使用引脚配置的信息..... | 28 |

| Changes from Revision C (May 2025) to Revision D (March 2026) | Page |
|--|-------------|
| • 更新了表 8-3 | 28 |

| Changes from Revision B (June 2023) to Revision C (May 2025) | Page |
|---|-------------|
| • 在 <i>MSPM0G 典型应用原理图</i> 中更新了 V _{CORE} 电容值和 NRST 电容值..... | 3 |
| • 增加了未使用引脚说明和散热焊盘说明。..... | 3 |
| • 更改了 <i>MSPM0G 硬件设计检查清单</i> 表中 NRST 的电容值..... | 3 |
| • 更新了数字电源部分中的 NRST 电容值..... | 6 |
| • 更新了 <i>TIMA 实例配置</i> 表中的 TIMAx 说明..... | 20 |
| • 更新了 <i>TIMG 实例配置</i> 表中的 TIMGx 说明..... | 20 |
| • 删除了 <i>MSPM0G UART 规格</i> 表中的 TIMHx 说明..... | 21 |
| • 更新了 <i>UART 特性</i> 表中的 UART 特性说明..... | 21 |
| • 更新了带最新数据表信息的 <i>MSPM0G I2C 特性表</i> | 24 |
| • 更新了带最新数据表信息的 <i>MSPM0G GPIO 开关特性</i> | 26 |

重要通知和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、与某特定用途的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保法规或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月